Iranian Food Science and Technology Research Journal
Vol. 15, No. 5, Dec- Jan 2020, p. 543-563

نشریه پژوهشهای علوم و صنایع غذایی ایران
جلد 15، شماره 5، آذر - دی 1398، ص. 563-543

ارزیابی و مقایسه خصوصیات ماست چکیده تولید شده به روش فرآیند بدون آب‌گیری (wheyless) با استفاده از تحلیل مؤلفه اصلی و رگرسیون حداقل مربعات جزئی

مصطفی کاشانی‌نژاد[1]- مسعود نجف نجفی[2*]- محسن قدس روحانی[3]- مرتضی کاشانی‌نژاد[4]

تاریخ دریافت: 1397/06/11
تاریخ پذیرش: 1398/01/15

چکیده

در این پژوهش اثر کنسانتره پروتئین شیر (mpc)، پودر آب پنیر (cwp) و صمغ کنجاک (kg) بر روی ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی، رئولوژیکی و حسی ماست چکیده مورد بررسی قرار گرفت و سپس این خصوصیات با استفاده از روش‌های تحلیل مؤلفه اصلی و رگرسیون حداقل مربعات جزئی مقایسه گردید. نتایج آزمون‌های فیزیکوشیمیایی نشان داد که با افزایش میزان mpc و کاهش cwp، تغییرات pH پس از 5 روز و آب‌اندازی نمونه‌ها کاهش یافت. بر طبق نتایج حاصل از آزمون اکسترژن برگشتی- آنالیز پروفیل بافت، با افزایش میزان صمغ کنجاک سختی، چسبندگی و نیروی چسبندگی نمونه‌ها نیز به‌طور معنی‌داری به‌ویژه برای نمونه‌های حاوی cwp بالاتر افزایش یافت در حالی‌که در مقادیر بالای صمغ کنجاک با افزایش میزان mpc و کاهش میزان cwp پیوستگی نمونه‌ها کاهش نشان داد. بر اساس آزمون کرنش متغیر نیز با افزایش میزان صمغ کنجاک، G' LVE، G'' LVE، γc، τy، τf و Gf نمونه‌ها نیز به‌طور معنی‌داری برای نمونه‌های حاوی cwp بالاتر افزایش یافت. همچنین نتایج حاصل از بررسی همبستگی بین خصوصیات حسی، فیزیکوشیمیایی و رئولوژیکی نشان داد که رابطه‌ای نزدیک بین امتیاز مزه ترش با پذیرش کلی نمونه‌ها وجود داشت که این امر نشان دهنده اهمیت بیشتر امتیاز مزه ترش در بین صفات اندازه‌گیری شده برای پذیرش کلی مصرف‌کنندگان بود.

واژه‌های کلیدی: آزمون اکسترژن برگشتی- آنالیز پروفیل بافت، آزمون کرنش متغیر، پودر آب پنیر، کنسانتره پروتئین شیر

مقدمه

لبنه یا ماست تغلیظ شده یا ماست چکیده یک محصول نیمه جامد است که از ماست و به طریق آبگیری و یا جدا کردن قسمتی از آب یا مواد محلول در آب به‌دست می‌آید. ارزش تغذیه‌ای بالا، قابلیت ماندگاری بیشتر، طعم و بافت مطلوب‌تر و امکان تهیه محصولات متنوع از این محصول تخمیری، از جمله دلایل پذیرش بالای آن در بین مصرف‌کنندگان است (Nsabimana *et al.*, 2005). ماست چکیده معمولاً با روش سنتی و پر زحمت استفاده از کیسه‌های پارچه‌ای که درآن قسمتی از فاز سرمی جدا می‌شود، تولید می‌گردد. روش‌های پیچیده‌تر تولید این ماست مستلزم صرف زمان طولانی‌تری بوده، همچنین احتمال آلودگی و کاهش ارزش تغذیه‌ای فراورده در آن زیاد می‌باشد (Ozer *et al.*,1999) . لذا امروزه، استفاده از روش‌های مناسب‌تر از جمله روش فرآیند بدون آب‌گیری[5] توسط پودرهای پروتئینی حاصل از شیر مانند شیر خشک، کنسانتره‌های پروتئینی شیر و پودر آب پنیر طرفداران زیادی دارد.

در تولید ماست ساختار و خصوصیات رئولوژیکی عوامل مهمی در تعیین پذیرش آن توسط مصرف‌کنندگان است. این خصوصیات به عواملی همچون میزان مواد جامد ماست، میزان چربی، میزان پروتئین‌های موجود، نوع و نسبت پروتئین‌ها، نوع و غلظت ثبات‌دهنده‌ها و یا قوام‌دهنده‌های مورد استفاده و شرایط فرآیندی نظیر عملیات حرارتی وابسته است (Jumah *et al.*, 2001). لذا ترکیب اجزاء شیر مورد استفاده برای تولید ماست از اهمیت زیادی برخوردار می‌باشد. فرایند حرارتی شیر، عامل مهم دیگری است که می‌تواند بر زمان تخمیر و خواص فیزیکی ماست اثر بگذارد. نکته جالب توجه این است که برهمکنش بین فرایند حرارتی با ترکیبات موجود در شیر از هر کدام از این دو عامل به تنهایی مهم‌تر می‌باشد (Soukoulis *et al.*, 2007). داده‌های مربوط به اثرات کمی و کیفی غنی‌سازی ماده

1، 2 و 3- به‌ترتیب دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، دانشیار و استادیار، گروه علوم و صنایع غذایی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی، سازمان تحقیقات.
4- دانشجوی دکترا، گروه علوم و صنایع غذایی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد.
(*- نویسنده مسئول: Email: mnajafi.mhd@gmail.com)
DOI: 10.22067/ifstrj.v15i2.74805

5 Wheyless

خشک بر روی شاخص‌های فیزیکی نظیر ویسکوزیته ظاهری، استحکام ژل یا حساسیت به آب اندازی[1] توسط محققین زیادی ارائه گردیده است. نتایج مربوط به استحکام و آب اندازی ماست با نسبت اصلاح شده پروتئین سرم به کازئین تا حدودی در تعارض می‌باشند. به هر حال تمایل به سمت ژل‌های نرم‌تر و با ویسکوزیته کمتر برای محصولاتی که پروتئین سرم بالایی دارند، در مقایسه با محصولاتی که به همان میزان دارای پروتئین کازئین هستند، مشاهده می‌شود. در هر مورد، محدودیت افزایش نسبت پروتئین سرم به کازئین به علت ایجاد طعم نامطلوب توصیه شده است (Fox, 2003).

تحقیقات جدید زیادی روی موضوع چگونگی تأثیر پروتئین‌های سرم بر بافت ماست انجام شده است (Lucey, 2009). اگر تشکیل ژل در شیر حرارت ندیده رخ دهد، تنها کازئین بر تشکیل ژل مؤثر است، اما این مسئله پس از پیش گرم کردن شیر که منجر به دناتوراسیون پروتئین‌های سرم می شود، کاملاً متفاوت می‌باشد (van Vliet *et al.*, 2004). پروتئین‌های دناتوره شده سرم که در زمان حرارت‌دهی، به سطح میسل‌های کازئین متصل شده‌اند، عامل بسیار مهمی در افزایش سختی در ژل‌های ماست تهیه شده از شیر حرارت دیده هستند (Lucey *et al.*, 1998). این پروتئین‌ها موجب تجمع میسل‌ها در pHهای بالاتر، به دلیل pH ایزوالکتریک بالاتر (5/3) پروتئین اصلی سرم، یعنی بتالاکتوگلوبولین، نسبت به کازئین‌ها می‌شوند (Lucey *et al.*, 1997). افزودن پروتئین‌های سرم، ثبات و استحکام ماست‌های کم‌چرب را تقویت می‌کند (Krzeminski *et al.*, 2011). پیوند عرضی بیشتر ژل‌ها توسط پروتئین‌های سرم دناتوره شده استحکام ژل را افزایش می‌دهد (Lucey *et al.*, 1997).

یکی از راه‌های افزایش قوام و بهبود بافت ماست و محصولات لبنی مشابه استفاده از هیدروکلوئیدها است. این ترکیبات برای بهبود خواص رئولوژیکی و بافتی در صنایع غذایی کاربرد دارد و اغلب به‌عنوان مواد افزودنی به‌منظور افزایش ویسکوزیته، تشکیل ساختار ژل و افزایش مقاومت فیزیکی، تشکیل فیلم، کنترل تبلور، مهار آب انداختن و بهبود بافت به‌کار می‌روند (ید ملت و همکاران، 1396). صمغ کنجاک پلی ساکاریدی خنثی است که از گیاهی پایا و چندساله متعلق به خانواده گل شیپوریان[2] و گونه بیریخت نراله[3] مشتق شده و به‌خوبی در کشورهای شرقی در طی قرن‌ها شناخته شده است (Chua *et al.*, 2012). قابلیت نگهداری آب و توانایی کاهش کلسترول و گلوکز در خون باعث گردیده تا این صمغ مورد توجه و استقبال زیادی قرار گیرد (Zhang *et al.*, 2015).

در پژوهش‌های مختلف، اثر ترکیب شیمیایی و روش‌های تولید (Tamime *et al.*, 1999; Ozer *et al.*, 1999)، افزایش نوع ماده خشک (Ozer *et al.*, 1998; Salji, 1991) و استفاده از هیدروکلوئیدها (Sodini *et al.*, 2005) بر خواص فیزیکوشیمیایی و رئولوژیکی ماست چکیده بررسی شده است و تاکنون مطالعات کمی بر روی خواص فیزیکوشیمیایی و رئولوژیکی و حسی ماست چکیده تولید شده به روش فرآیند بدون آب‌گیری وجود دارد (Lowe, 2004). از طرفی استفاده از حواس انسان برای ارزیابی مواد غذایی، دارای محدودیت‌های زیادی می‌باشد و اغلب ارزیابی‌های حسی انجام شده دارای خطا بوده و یا تکرار پذیری آن امکان‌پذیر نیست (Gambaro *et al.*, 2004) لذا استفاده از داده‌های دستگاهی که بتواند منعکس‌کننده اندازه‌گیری‌های حسی بوده و دارای همبستگی بالایی با نتایج حسی باشند، می‌تواند مفید واقع گردد.

در این پژوهش با توجه به اهمیت ماست چکیده تولید شده به روش فرآیند بدون آب‌گیری، اثر اجزاء مختلف فرمولاسیون از جمله کنسانتره پروتئین شیر، پودر آب پنیر و صمغ کنجاک بر روی ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی، رئولوژیکی و حسی ماست چکیده مورد بررسی قرار گرفت و سپس این خصوصیات با استفاده از روش‌های تحلیل مؤلفه اصلی و رگرسیون حداقل مربعات جزئی مقایسه گردید.

مواد و روش‌ها

شیر گاو (ماده خشک 10/5 درصد، چربی 3/3 درصد، پروتئین 3/75 درصد، لاکتوز 5/63 درصد، خاکستر 0/86 درصد) از بازار محلی مشهد، شیر خشک بدون چربی (رطوبت 3/6 درصد، چربی 0/5 درصد، پروتئین 32/5 درصد، لاکتوز 45 درصد، خاکستر 8/5 درصد)، کنسانتره پروتئین شیر (رطوبت 4/1 درصد، چربی 0/5 درصد، پروتئین 69/5 درصد، لاکتوز 17 درصد، خاکستر 8/5 درصد)، پودر آب پنیر (رطوبت 2/3 درصد، چربی صفر درصد، پروتئین 5/4 درصد، لاکتوز 78 درصد، خاکستر 7/6 درصد)، آغازگر تجاری (ABY_1, Cristian Hansen, Hørsholm, Denmark) از کارخانه پگاه خراسان رضوی و صمغ کنجاک (.Food Chem Co، چین) تهیه گردیدند.

تهیه ماست چکیده

به‌منظور تغلیظ هرچه بیشتر شیر مورد استفاده، به ازاء هر کیلوگرم شیر 3 درصد پودر شیر خشک بدون چربی به همه نمونه‌ها اضافه گردید و سپس مطابق طرح آزمایشی (جدول 1) کنسانتره پروتئین شیر و پودر آب پنیر نیز به نسبت‌های صفر، 4، 6 و 8 درصد به آن اضافه شد به‌طوری‌که ماده خشک نهایی 21/5 درصد ثابت بود. صمغ کنجاک نیز با نسبت‌های صفر، 0/05، 0/1، 0/15 و 0/2 درصد مطابق روش yazisky و همکاران (2004) در

---
1 Synersis
1 Araceae
2 Amorphophallus

دمای 40°C اضافه گردید. فرمولاسیون تهیه شده به این روش در دمای 50°C هموژن گردید و به مدت 1 دقیقه در دمای 90°C پاستوریزه شد. سپس نمونه تا دمای 45-43 °C سرد شد و 0/04 درصد باکتری‌های آغازگر در نظر گرفته شده به فرمولاسیون تهیه شده اضافه گردید و به مدت 4-3 ساعت در دمای 45-43 °C نگهداری شدند. پس از رسیدن به pH مورد نظر (4/5) مجدداً به‌آرامی هم‌زده شدند و سپس در ظروف پلی‌اتیلنی بسته‌بندی گردیدند. ماست چکیده تولید شده جهت خنک شدن و نگهداری به سردخانه (3°C) منتقل شد و بعد از 24 ساعت آزمون‌های مورد نظر بر روی آن انجام گردید.

pH

مطابق با AOAC 2005 official methods (935.42) تعیین شد (AOAC, 1995).

آب‌اندازی

برای اندازه‌گیری میزان آب‌اندازی نمونه‌ها ، 25 گرم ماست در دمای 4°C درجه سانتی‌گراد و به مدت10 دقیقه در 4500 دور در دقیقه سانتریفوژ شدند. آب اندازی به‌عنوان درصد وزنی سرم جدا شده مورد ارزیابی قرار گرفت (Debon *et al.*, 2010).

(1) 100×وزن نمونه اولیه/(وزن نمونه بعد از فیلتر شدن - وزن نمونه اولیه) = سرم آب پنیری جدا شده

آزمون اکسترژن برگشتی- آنالیز پروفیل بافت

برای انجام آزمون اکسترژن برگشتی-آنالیز پروفیل بافت از دستگاه بافت‌سنجی (Stable Micro Systems، لندن) استفاده گردید (Bourne, 1978). جهت انجام این آزمون، سیلندر با قطر 50 و ارتفاع 100 میلی‌متر و پروب با قطر 45 و ارتفاع 100 میلی‌متر و سرعت حرکت پروب 1 میلی‌متر برثانیه در نظر گرفته شد. نمونه‌های ماست چکیده در دمای 10°C، تا 60% ارتفاع اولیه (ارتفاع 40 میلی‌متر سیلندر) طی دو سیکل توسط دستگاه اکسترود گردیدند. صفات مورد اندازه‌گیری عبارت بودند از سختی[1] (ارتفاع پیک اصلی در منحنی اول در مرحله و با واحد نیوتن)، پیوستگی[2] (سطح زیر منحنی دوم در مرحله رفت به سطح زیر منحنی اول در مرحله رفت)، حالت فنری[3] (فاصلهٔ بین شروع منحنی دوم تا رسیدن این منحنی به پیک)، حالت صمغی[4] (مقدار آن از حاصل ضرب مقادیر سختی در پیوستگی)، حالت آدامسی[5] (حاصل ضرب مقادیر حالت فنری در حالت صمغی)، چسبندگی[6] (مساحت زیر نمودار در قسمت منفی) و نیروی چسبندگی[7] (بیشترین مقدار نیرو در قسمت منفی).

آزمون رئولوژیکی دینامیکی (آزمون کرنش متغیر)

اندازه‌گیری پارامترهای رئولوژیکی دینامیک با استفاده از رئومتر پارفیزیکا (Paar GmbH, Physica MCR 301, Anton Stuttgart, Germany) انجام پذیرفت. این رئومتر مجهز به هندسه دو صفحه موازی با قطر 50 میلی‌متر و فاصله دو صفحه[8] 2 میلی‌متر بود. از نرم‌افزار Rheoplus/32, version V3.40 جهت تعیین پارامترهای رئولوژیکی مختلف (G′، G″ و η*) استفاده شد. دمای صفحه پایینی نیز با به‌کارگیری سیستم پلتیر کنترل گردید و برای حفظ یکنواخت دما در حالت فعال در طی آزمون، نمونه‌ها با یک هود اختصاصی دستگاه محافظت شدند. آزمون تنش متغیر در محدوده 0/01 تا 100 درصد و فرکانس یک هرتز و در دمای 20°C برای تعیین مدول الاستیک در ناحیه خطی (G′LVE)، مدول افت در ناحیه خطی (G″LVE)، کرنش بحرانی(γc)، تنش تسلیم (τy)، تانژانت اتلاف در ناحیه خطی (Tan δLVE)، تنش تسلیم در نقطه جریان (τf) و مدول الاستیک در نقطه جریان (Gf: G' = G") انجام گرفت (Balaghi *et al.*, 2011).

ارزیابی حسی

به‌منظور تعیین اثر متغیرهای فرآیند بر ویژگی‌های حسی و پارامترهای کیفی ماست چکیده، صفات حسی متعددی تعریف شد و از داوران حسی آموزش دیده خواسته شد بر اساس هر یک از صفات، نمونه‌های ماست چکیده را با استفاده از آزمون چشایی به روش هدونیک به‌صورت آزمون پنج نقطه‌ای (از خیلی بد: 1، تا خیلی خوب: 5) مورد ارزیابی قرار دهند (استاندارد بین‌المللی IDF، 1997). صفات حسی مورد بررسی عبارت بودند از: سفتی، چسبندگی، ذوب‌شوندگی، مزه ترش، رنگ و در نهایت پذیرش کلی که هر کدام دارای تعاریف و روش آزمون منحصر به فردی بودند. 10 نفر(3 زن و7 مرد) داوران حسی از بین دانشجویان دانشگاه فردوسی مشهد و مرکز تحقیقات و آموزش جهاد کشاورزی و منابع طبیعی خراسان رضوی در محدوده سنی 25 تا 37 سال که به‌طور کامل با ویژگی‌های ماست چکیده آشنا بودند، انتخاب گردیدند. آموزش اعضای پنل شامل بحث روی اصطلاحات علمی مورد استفاده و تعاریف حسی آنها بود. نمونه‌ها (بسته‌های 30 گرمی) در دمای 10°C در اختیار داوران قرار گرفت.

1 Hardness
2 Cohesiveness
3 Springiness
4 Gumminess
5 Chewiness
6 Adhesiveness
7 Adhesive Force
8 Gap

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها

طرح آزمایشی متقاطع مخلوط- فرآیند

در این پژوهش اجزای طرح مخلوط شامل mpc به میزان صفر تا 8 درصد و cwp به میزان 0 تا 8 درصد تعریف شد، به‌طوری که این اجزاء 8 درصد وزن فرمول کلی را تشکیل دادند و فاکتور فرآیند شامل صمغ کنجاک به میزان صفر تا 0/2 درصد بود. به‌صورتی‌که تعداد کل تیمارهای نهایی حاصل از طرح متقاطع مخلوط- فرآیند 14 تیمار شد (جدول 2).

$$Y=\sum_{k=1}^{q} y_k^0 x_k+\sum_{k=1}^{q-1}\sum_{l=i+1}^{q} y_{kl}^0 x_k x_l+\sum_{i=1}^{m}\left[\sum y_k^i x_k+\sum_{k=1}^{q-1}\sum_{l=k+1}^{q} y_{kl}^i x_k x_l\right]z_i+\sum_{k=1}^{m-1}\sum_{l=i+1}^{m}\left[\sum_{k=1}^{q} y_k^{ij} x_k+\sum_{k=1}^{q-1}\sum_{l=k+1}^{q} y_{kl}^{ij} x_k x_l\right]z_i z_g+\varepsilon_0 \quad (2)$$

که در مدل فوق $\sum_{k=1}^{q} y_k^0 x_k+\sum_{k=1}^{q-1}\sum_{l=i+1}^{q} y_{kl}^0 x_k x_l$ مربوط به اثرات خطی و غیرخطی اجزای مخلوط و $\left[\sum y_k^i x_k+\sum_{k=1}^{q-1}\sum_{l=k+1}^{q} y_{kl}^i x_k x_l\right]z_i$ مربوط به اثرات خطی و غیرخطی متغیرهای فرآیند و $\sum_{k=1}^{m-1}\sum_{l=i+1}^{m}\left[\sum_{k=1}^{q} y_k^{ij} x_k+\sum_{k=1}^{q-1}\sum_{l=k+1}^{q} y_{kl}^{ij} x_k x_l\right]z_i z_g$ مربوط به اثرات خطی متقابل اجزای مخلوط و متغیرهای فرآیند می‌باشد.

سپس با استفاده از جدول آنالیز واریانس (ANOVA) معنی‌دار بودن اثرات خطی، درجه دوم و متقابل ضرایب مدل رگرسیون برای هر پاسخ در سطوح 0/05، 0/01، 0/001 بررسی شد.

جدول 1- سطوح کدبندی شده متغیر های فرآیند و اجزای مخلوط در طرح متقاطع مخلوط- فرآیند

متغیر (درصد)	نماد	نوع متغیر	سطوح متغیر	
			+1	-1
کنسانتره پروتئین شیر(mpc)	X_1	مخلوط	8	0
پودر آب پنیر (cwp)	X_2	مخلوط	8	0
صمغ کنجاک	X_3	فرآیند	0/2	0

جدول 2- سطوح واقعی متغیر فرآیند و اجزای مخلوط در طرح متقاطع مخلوط- فرآیند

تیمار	مخلوط		فرآیند
	کنسانتره پروتئین شیر (درصد)	پودر آب پنیر (درصد)	صمغ کنجاک (درصد)
1	6	2	0/05
2	8	0	0/2
3	4	4	0/1
4	4	4	0
5	8	0	0
6	4	4	0
7	0	8	0/1
8	0	8	0
9	4	4	0/2
10	0	8	0/2
11	2	6	0/15
12	8	0	0/1
13	4	4	0/1
14	4	4	0/2

نتایج پژوهش با استفاده از نرم‌افزار آماری (Design-Expert version 10) به روش طرح آزمایشی متقاطع مخلوط- فرآیند آنالیز شد و هر یک از متغیرهای پاسخ در قالب مدل رگرسیون ترکیبی (استف) طرح آزمایشی متقاطع مخلوط- فرآیند که به صورت زیر به‌دست می‌آید ارائه شد(Dal Belloa *et al*., 2011).

به‌کارگیری روش‌های تحلیل مؤلفه اصلی (PCA[1]) و رگرسیون کمترین مربعات جزئی (PLS[2])

روش‌های آماری که برای بیان و تحلیل داده‌های اندازه‌گیری شده همزمان چند متغیر به‌کار می‌رود تحلیل چند متغیره نامیده می‌شود. یکی از این روش‌ها، PCA می‌باشد. PCA یک روش آماری مفید برای فشرده‌سازی اطلاعات تصاویر، کاهش تعداد پاسخ‌های یک آزمایش یا فرایند با پاسخ‌های زیاد به‌وسیله ترکیب نمودن پاسخ‌ها می‌باشد بدون این‌که اطلاعات اصلی داده‌ها نادیده گرفته شود. یکی از ابزارهای مهم برای پیش‌بینی متغیرهای وابسته از روی متغیرهای مستقل، استفاده از معادلات رگرسیون می‌باشد.

وجود برخی از معایب همچون وجود هم‌خطی بین متغیرهای مستقل یا توضیحی در برخی از مطالعات باعث نامعتبر شدن مطالعات رگرسیونی (حداقل مربعات عمومی) شده است. از این‌رو محققان روش‌های جدیدی برای بنا کردن معادله پیش بینی ارائه داده‌اند که روش رگرسیونی موسوم به کمترین مربعات جزئی از مهمترین این معادلات می‌باشد. در این روش، مؤلفه‌های جدید متعامدی که ترکیب خطی از متغیرهای اولیه هستند، ایجاد شده سپس از این مؤلفه‌ها برای ساختن معادله رگرسیونی استفاده می‌شود. در مدل رگرسیون PLS ضرایب استاندارد VIP[3] منعکس‌کننده اثر تک تک xها بر روی yها می‌باشد و به‌آسانی در نمودار PLS قابل مشاهده است و به این ترتیب مؤثرترین متغیرها و درجه اهمیت آن‌ها به‌سرعت شناسایی و تشخیص داده می‌شوند (Tenenhaus *et al*., 2005). آزمون رگرسیون حداقل مربعات جزئی می‌تواند به‌خوبی ویژگی‌های حسی بافت را به‌وسیله اندازه‌گیری‌های دستگاهی بافت پیش‌بینی کند و ارتباط بین ماتریس‌های حسی و فیزیکی را مورد آنالیز قرار دهد.

نتایج و بحث

مدل‌سازی

معادلات به‌دست آمده برای پیش‌بینی متغیرهای وابسته با استفاده از طرح آزمایشی متقاطع مخلوط- فرآیند برای متغیرهای معنی‌دار در جدول 3 آمده است. برای بررسی صحت مدل از ضرایب تبیین (R^2) و تست عدم برازش استفاده گردید. همان‌طور که در جدول نشان داده شده است ضریب تبیین برای کلیه صفات اندازه‌گیری شده بالاتر از 0/65 بوده و فاکتور عدم برازش نیز برای کلیه صفات اندازه‌گیری شده در سطح اطمینان 95% معنی‌دار نمی‌باشد. بنابراین بالا بودن ضریب تبیین و معنی‌دار نبودن عدم برازش برای تمامی پاسخ‌ها صحت مدل را برای برازش اطلاعات تأیید می‌کند. برای مشاهده بهتر اثر متغیرهای مستقل بر روی صفات مورد آزمایش، نمودارهای سطح پاسخ برای هر صفت رسم گردید.

ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی

pH و تغییرات pH پس از 5 روز

کاهش pH ناشی از اسیدسازی با خنثی کردن بارهای منفی مسیل‌های کازئین امکان اجتماع این میسل‌ها و تشکیل شبکه کازئینی ژل را فراهم می‌آورد. pH بهینه نهایی برای دستیابی به خواص مطلوب بافت 4/6- 4/1 گزارش شده است. به‌عنوان قاعده‌ای کلی از آن‌جا که pH بر کم و کیف جاذبه‌ها و پیوندهای میان مولکول‌ها اثر می‌گذارد (مانند پیوندهای پروتئین- پروتئین یا کربوهیدرات- پروتئین) خواص بافتی و رئولوژیک ژل را نیز تحت تأثیر قرار می‌دهد (Walstra *et al*., 1999).

نتایج بررسی ها نشان داد که هیچ کدام از اثرات خطی، درجه دوم و متقابل افزودن mpc، cwp و صمغ کنجاک بر روی pH نمونه‌ها در روز اول معنی‌دار نبود. کاهش pH بعد از فرآیند تولید و در زمان نگهداری عمدتاً تحت تأثیر آغازگرهای مورد استفاده برای تولید ماست، زمان و دمای نگهداری می باشد (Lanzanova *et al*., 1993). به‌عبارت دیگر کاهش pH و افزایش اسیدیته نمونه‌های ماست در طی زمان نگهداری به‌دلیل فعالیت متابولیکی ماندگار آغازگرهای ماست است که با تخمیر لاکتوز به تولید اسید لاکتیک ادامه می‌دهند و بیش اسیدی شدن نامیده می‌شود (Hassan *et al*., 1996) لذا با توجه به این‌که ماده خشک کلیه نمونه‌های ماست چکیده ثابت بود و لاکتوز نیز به میزان کافی به‌منظور فعالیت باکتری‌های آغازگر وجود داشته است لذا شرایط فعالیت آغازگرها برای کلیه نمونه‌ها یکسان بوده است و کلیه اثرات خطی، درجه دوم و متقابل ناشی از افزودن mpc، cwp و صمغ کنجاک بر روی pH نمونه ها در روز اول معنی‌دار نبود.

نتایج تحقیق نشان داد که تغییرات pH نمونه‌های مورد آزمون پس از 5 روز بین 0/36 تا 0/94 متغیر بود. بر اساس نتایج تحلیل واریانس مدل متقاطع منتخب (Quadratic x Linear)، تنها اثرات خطی mpc و cwp در سطح 99 درصد و اثر متقابل kg -cwp در سطح 95 درصد بر روی تغییرات pH نمونه‌ها معنی‌دار بود. شکل 1 تأثیر mpc، cwp و صمغ کنجاک بر روی تغییرات pH نمونه‌های ماست چکیده را با توجه به معادله y_1 جدول 3 نشان می‌دهد.

---

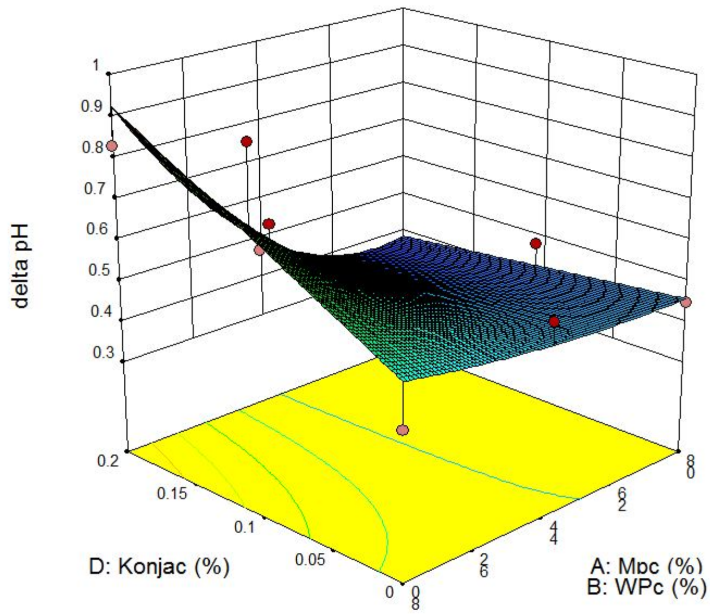
1 Principal Components Analysis
2 Partial Least Squares
3 Variable Importance in Projection

جدول 3- معادلات به‌دست آمده برای پیش‌بینی متغیرهای وابسته (ویژگی‌های حسی، فیزیکوشیمیایی و رئولوژیکی) با استفاده از طرح آزمایشی متقاطع مخلوط - فرآیند

متغیرهای وابسته	معادله	F Value	p > F	ضریب تبیین	ضریب تغییرات	عدم برازش
تغییرات pH	$y_1 = 408/08 - 133/74A - 155/17B - 173/100C + 2796/32AB - 110/00AC - 824/28BC$	5/83	0/047	0/74	14/06	n.s
آب اندازی	$y_2 = 121/01 - 80/89A + 6/54B - 0/44C + 734/122AB + 439/71AC - 1333/41BC$	5/01	0/0072	0/70	13/93	n.s
سختی	$y_1 = 342/99 + 575/46A + 40/81B + 627/67C + 1860/87AB - 7600/20AC + 1388/77BC$	11/13	0/0006	0/86	10/59	n.s
پیوستگی	$y_2 = 63/79 + 146/49A + 63/58B + 317/19C + 278/93AB - 1628/57AC - 431/71BC$	6/39	0/0026	0/74	14/22	n.s
چسبندگی	$y_3 = 162/38 + 1124/34A + 516/73B + 2328/31C + 16/97AB - 10574AC - 3384BC$	4/64	0/0098	0/68	20/15	n.s
نیروی چسبندگی	$y_4 = 17/95 - 26/36A - 41/24B - 84/51C + 77/02AB + 87/00AC + 190/42BC$	6/49	0/ 0024	0/74	؟؟؟	n.s
G´LVE (Pa)	$y_1 = 431/27 - 252/27A - 22/64B + 1179/43C + 1362/85AB - 3284/28AC - 1932/85BC$	23/78	0/0001	0/91	3/48	n.s
G″LVE (Pa)	$y_2 = 101/56 - 5/14A + 23/12B + 189/35C + 97/06AB - 404/85AC - 661/14BC$	0/334	0/0072	0/70	13/93	n.s
γc (%)	$y_3 = 369/08 + 522/41A + 378/30B + 1361C - 724/24AB - 3823AC - 5830BC$	4/04	0/0166	0/65	13/95	n.s
τy (Pa)	$y_4 = 16/89 - 33/07A - 35/08B - 84/80C + 80/44AB + 107/85AC + 175BC$	6/14	0/ 0038	0/75	41	n.s
τf (Pa)	$y_2 = 101/56 - 5/14A + 23/12B + 189/35C + 97/06AB - 404/85AC - 661/14BC$	0/334	0/0072	0/70	13/93	n.s
tan δ LVE	$y_5 = 2/33 + 0/91A + 2/08B\ 0/80C$	5/51	0/ 042	0/65	13/64	n.s
Gf (Pa)	$y_6 = 2/97 - 1/67A + 0/98B\ 6/60C + 4/08AB - 35/71AC + 7/14BC$	4/63	0/ 0099	0/68	8/08	n.s
امتیاز سفتی	$y_1 = 342/99 + 575/46A + 40/81B + 627/67C + 1860/87AB - 7600/20AC + 1388/77BC$	11/13	0/0006	0/86	10/59	n.s
امتیاز چسبندگی	$y_2 = 63/79 + 146/49A + 63/58B + 317/19C + 278/93AB - 1628/57AC - 431/71BC$	6/39	0/0026	0/74	14/22	n.s
امتیاز ذوب شوندگی	$y_3 = 1/75A - 474/96B + 1323/77AB - 2404/41C + 2397/05BC$	4/64	0/001	0/99	1/21	n.s
امتیاز مزه ترش	$y_3 = 162/38 + 1124/34A + 516/73B + 2328/31C + 16/97AB - 10574AC - 3384BC$	4/64	0/0098	0/68	20/15	n.s
پذیرش کلی	$y_3 = 162/38 + 1124/34A + 516/73B + 2328/31C + 16/97AB - 10574AC - 3384BC$	4/64	0/0098	0/68	20/15	n.s

همان‌طور که در شکل 1 مشاهده می‌شود با افزایش میزان صمغ کنجاک تغییرات pH نمونه‌ها پس از 5 روز افزایش یافت در حالی‌که شدت این تغییرات در نمونه‌های حاوی cwp بالاتر بیشتر بود. همچنین طبق شکل 1 مشاهده می‌شود که در مقادیر کم صمغ کنجاک، با افزایش میزان mpc و کاهش cwp تغییرات pH اندکی کاهش می‌یابد این در حالی است که در مقادیر بالای صمغ کنجاک با افزایش میزان mpc و کاهش میزان cwp تغییرات pH نمونه‌ها با شدت بیشتری کاهش نشان داد. علت این پدیده در دسترس قرار گرفتن مقادیر بیشتر اسیدهای آمینه و پپتیدهای با وزن مولکولی پایین است. Tamim و همکاران (1999) بیان کردند که بخش از ته آب پنیر با تحریک فعالیت باکتری‌های آغازگر سرعت اسیدسازی را طی تخمیر افزایش می‌دهد. با این حال Baig و همکاران (1996) ملاحظه کردند که افزودن مواد جامد آب پنیر با آن‌که موجب تحریک و رشد باکتری‌های آغازگر شد ولی تعداد باکتری‌ها کاهش یافت.

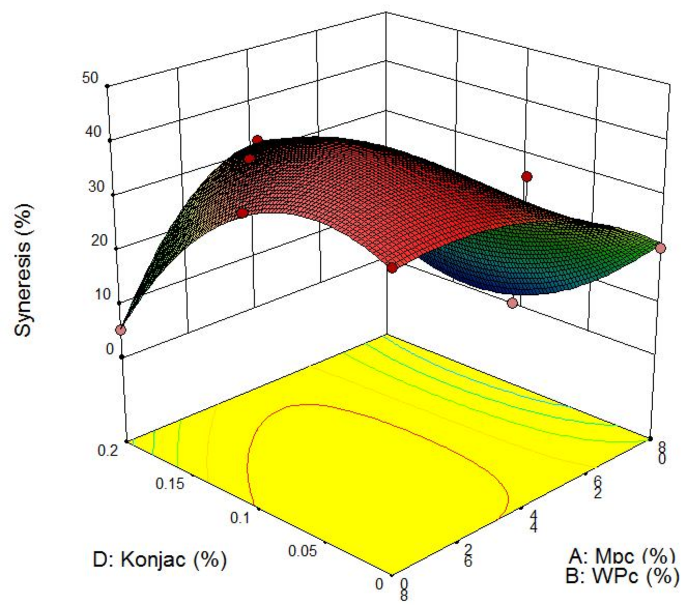
ظرفیت بافری ماست، گسترش اسیدیته و pH را تحت تأثیر قرار می‌دهد بدین ترتیب که هرچه شاخص یاد شده بالاتر باشد pH فراورده دیرتر افت می‌کند اما اسیدیته با شدت بیشتر افزایش می‌یابد که البته این ظرفیت بافری به مقدار پروتئین‌ها به‌ویژه کازئین، نمک های فسفات، لاکتات و سیترات موجود در شیر بستگی دارد (Tamime, 1993).



شکل 1- تأثیر mpc، cwp و صمغ کنجاک بر روی تغییرات pH نمونه‌های ماست چکیده

آب اندازی

آب‌اندازی به شبکه ژلی ناپایدار و نوآرایی‌های بیش از حد شبکه ژلی ضعیف مربوط می‌باشد (Desmazeaud *et al.*, 1972). نتایج نشان داد که آب اندازی نمونه‌های مورد آزمون بین 5/3 تا 37 درصد متغیر بود. بر اساس نتایج تحلیل واریانس مدل متقاطع منتخب (Quadratic x Linear)، اثرات خطی mpc و cwp و اثرات متقابل mpc-kg و cwp-kg و cwp- mpc-kg در سطح 99 درصد بر آب اندازی نمونه‌ها معنی‌دار بود. شکل2 تأثیر mpc، cwp و صمغ کنجاک بر روی آب اندازی نمونه‌های ماست چکیده را با توجه به معادله y_1 جدول 3 نشان می‌دهد.

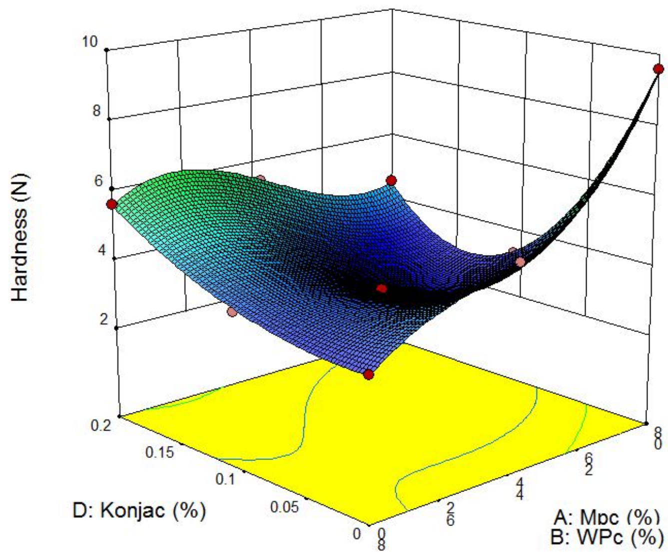


شکل 2- تأثیر mpc، cwp و صمغ کنجاک بر روی آب اندازی نمونه‌های ماست چکیده

همان‌طور که در شکل 2 مشاهده می‌شود با افزایش میزان صمغ کنجاک در نمونه‌هایی که دارای مقادیر بالایی cwp هستند آب اندازی نمونه‌ها به شدت کاهش می‌یابد و با افزایش صمغ کنجاک در نمونه‌هایی که حاوی مقادیر بالایی mpc هستند با شدت کمتری آب اندازی نمونه‌ها کم می‌شود. همچنین طبق شکل 2، در مقادیر کم صمغ کنجاک با افزایش میزان mpc و کاهش میزان cwp آب اندازی نمونه‌ها کاهش یافت در حالی‌که آب اندازی در نمونه‌های حاوی بالای مقادیر صمغ با افزایش میزان mpc و کاهش میزان cwp تا میزان 4 درصد افزایش و سپس کاهش نشان داد. نسبت کازئین به پروتئین آب پنیر3/1-3:4/2 برای تشکیل ژلی با خواص بافتی مطلوب مناسب است. نسبت‌های بالاتر، ژلی خشک و ضخیم و نسبت‌های پایین‌تر ژلی سست با قابلیت آب اندازی بالا تولید می‌کنند (Varnam *et al.*, 1994).

ویژگی‌های رئولوژیکی تغییر شکل وسیع ماست چکیده سختی

نتایج تحقیق نشان داد که سختی نمونه‌های مورد آزمون بین 3/25 تا 9/58 نیوتن قرار داشت. بر اساس نتایج تحلیل واریانس مدل متقاطع منتخب (Quadratic x Linear)، اثرات متقابل mpc-kg و cwp -kg و cwp- mpc-kg در سطح 99 درصد بر روی سختی نمونه‌ها معنی‌دار بود. شکل3 تأثیر mpc، cwp و صمغ کنجاک بر روی سختی نمونه‌های ماست چکیده را با توجه به معادله y_1 جدول 3 نشان می‌دهد.



شکل 3- تأثیر mpc، cwp و صمغ کنجاک بر روی سختی نمونه‌های ماست چکیده

همان‌طور که در شکل 3 مشاهده می‌شود با افزایش میزان صمغ کنجاک سختی نمونه‌ها نیز به‌طور معنی‌دار به‌ویژه برای نمونه‌های حاوی cwp بالاتر افزایش پیدا کرد. همچنین طبق همین شکل، در مقادیر کم صمغ کنجاک با افزایش میزان mpc و کاهش میزان cwp سختی نمونه‌ها افزایش یافت به‌طوری‌که بیشترین میزان سختی در نمونه‌های حاوی بالاترین میزان mpc مشاهده گردید. این در حالی است که سختی نمونه‌ها در مقادیر بالای صمغ کنجاک، افزایش میزان mpc و کاهش میزان cwp ابتدا کمی افزایش و سپس کاهش پیدا کرد. این امر نشان دهنده نقش بیشتر صمغ کنجاک بر cwp نسبت به mpc می باشد. به‌طور کلی مقدار سختی اندازه‌گیری شده در ماست وابسته به عوامل مختلفی از جمله مقدار کازئین شیر، میزان چربی، تیمار حرارتی، نوع کشت، دمای گرمخانه‌گزاری و درجه حرارت نمونه در زمان اندازه‌گیری سختی می‌باشد (Walstra, 2013). بر اساس پژوهش‌های انجام شده، وقتی شیر با استفاده از cwp و یا کازئینات غنی می‌شود نسبت به وقتی که تنها از شیر خشک برای غنی سازی استفاده شده است، ماستی با سختی بیشتر تولید می‌شود (Sodini *et al.*, 2005). در واقع پروتئین سرم دناتوره شده طی فرایند حرارتی که به سطح میسل‌های کازئین متصل شده‌اند، یکی از فاکتورهای اساسی در افزایش سختی ژل‌های حرارت دیده است (Lucey *et al.*, 1998). به عقیده Großhable و همکاران (2011) پیوندهای اصلی در ژل‌های کازئین و کازئین-پروتئین سرم، سختی ژل را تحت تأثیر قرار می‌دهد و در این زمینه پیوندهای کووالان

دارای تأثیر بیشتری بر سختی ژل نسبت به پیوندهای غیرکووالان هستند. به‌احتمال زیاد خاصیت سختی کمتر نمونه‌های غنی شده با cwp و mpc در غلظت‌های مختلف صمغ به انرژی برهمکنش بین ذرات نسبت داده می‌شود. همچنین در حجم‌های بالای فراکسیون پروتئین سرم می‌تواند احتمال برهمکنش‌های شدید ذرات بین پروتئین سرم دناتوره شده و میسل‌های کازئین در شیر مصرفی در تهیه ماست طی حرارت‌دهی را افزایش دهد و موجب افزایش تعداد پیوندهای کووالان دی‌سولفید در ساختمان ژل طی تشکیل شبکه گردد (Krzeminski *et al.*, 2011).

افزودن صمغ کنجاک نیز به نمونه‌های ماست، به‌علت قرارگیری پلی‌ساکاریدهای تشکیل‌دهنده هیدروکلوئید در میان میسل‌های کازئین، موجب ایجاد تداخل در تشکیل شبکه سه بعدی پروتئین شده که به‌نظر می‌رسد این تداخل با تغییرات نوع پروتئین متفاوت خواهد بود. در نتیجه افزودن صمغ کنجاک در مقادیر بالای mpc منجر به کاهش سختی و در مقادیر بالای cwp منجر به افزایش سختی می‌گردد. افزایش غلظت صمغ با افزایش فعل و انفعال هیدروکلوئید- پروتئین و تغییر در آرایش شبکه ژلی، منجر به ایجاد تغییرات در بافت خواهد شد. افزایش سفتی ماست در طول زمان نیز، به تغییر آرایش و اتصال پروتئین‌ها ارتباط دارد (Aziznia *et al.*, 2008).

پیوستگی

نتایج تحقیق نشان داد که پیوستگی نمونه‌های مورد آزمون بین 0/15 تا 0/25 متغیر بود. بر اساس نتایج تحلیل واریانس مدل متقاطع منتخب (Cubic× Quadratic)، تنها اثرات خطی mpc و cwp در سطح 95 درصد و اثر متقابل cwp-kg در سطح 99 درصد بر روی پیوستگی نمونه‌ها معنی‌دار بود. همچنین نتایج پژوهش نشان داد که در مقادیر کم صمغ کنجاک با تغییرات میزان mpc و cwp پیوستگی نمونه‌ها چندان تغییر پیدا نکرد در حالی‌که در مقادیر بالای صمغ کنجاک با افزایش میزان mpc و کاهش میزان cwp پیوستگی نمونه‌ها کاهش یافت و با توجه به این‌که فقط اثر متقابل cwp -kg بر پیوستگی نمونه‌ها معنی دار بود می‌توان به نقش مؤثر اثر متقابل cwp و صمغ کنجاک بر پیوستگی نمونه‌ها پی برد. شاخص پیوستگی تحت عنوان قدرت پیوندهای داخلی غذاها تعریف می‌شود و قدرت کششی و پیوستگی غذاها را نشان می‌دهد (Park, 2007). مطالعات انجام شده توسط Ozer و همکاران (1999) با میکروسکوپ الکترونی نشان داد که نمونه‌های حاوی مقادیر بالاتر پروتئین ساختارهای فشرده‌تری دارند. عزیزنیا و همکاران (2007) تأثیر کنسانتره آب پنیر در غلظت‌های مختلف را به‌عنوان یک جایگزین چربی بر خواص فیزیکی، شیمیایی و ساختاری ماست بدون چربی مورد مطالعه قرار دادند و نشان دادند که افزایش کنسانتره آب پنیر موجب ایجاد یک ساختار فشرده و تنومند حاوی اجزای کازئین، افزایش نرمی و کاهش آب‌اندازی می‌گردد.

حالت فنری

حالت فنری نمونه‌های مورد آزمون بین 3/77 تا 14/39 میلی‌متر متغیر بود. همچنین نتایج بررسی‌ها نشان داد که هیچ کدام از اثرات خطی، درجه دوم و متقابل ناشی از افزودن mpc، cwp و صمغ کنجاک بر روی حالت فنری نمونه‌ها در معنی‌دار نبود (P>0/05) .

چسبندگی و نیروی چسبندگی

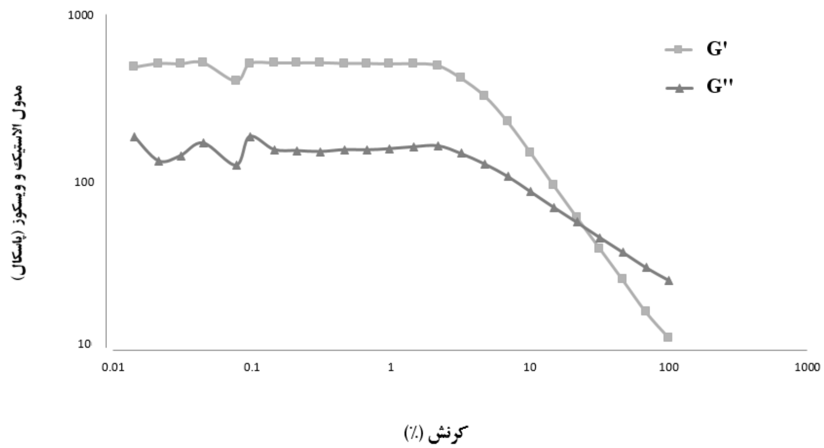
نتایج تحقیق نشان داد که چسبندگی و نیروی چسبندگی نمونه‌های مورد آزمون به‌ترتیب بین 0/0003 تا 0/0225 نیوتن متر و 0/592 تا 4/609 نیوتن متغیر بود. بر اساس نتایج تحلیل واریانس مدل متقاطع منتخب، هر دو پاسخ چسبندگی و نیروی چسبندگی (Cubic× Quadratic) اثرات خطی mpc و cwp و اثرات متقابل mpc-kg و cwp- mpc-kg در سطح 99 درصد بر روی چسبندگی و نیروی چسبندگی نمونه‌ها معنی‌دار بود. این درحالی است که اثرمتقابل cwp-kg هیچ‌گونه اثر معنی‌داری بر روی چسبندگی و نیروی چسبندگی نمونه‌ها نداشت. نتایج پژوهش نشان داد که تغییرات چسبندگی و نیروی چسبندگی نمونه‌ها با تغییرات mpc، cwp و صمغ کنجاک تقریباً مشابه یکدیگر است به‌طوری‌که با افزایش میزان صمغ کنجاک در نمونه‌هایی که دارای مقادیر بالایی cwp هستند حالات چسبندگی و نیروی چسبندگی نمونه‌ها افزایش یافت در حالی‌که با افزایش صمغ کنجاک تا حدود مقادیر 0/15 درصد در نمونه‌هایی که حاوی مقادیر بالای mpc بودند منجر به کاهش چسبندگی و نیروی چسبندگی شد. با افزایش بیشتر صمغ کنجاک از حدود مقادیر 0/15 درصد تا 0/2درصد این روند افزایشی گردید.

نیروی چسبندگی، نیروی لازم جهت غلبه بر نیروی جاذبه سطحی بین ذرات است لذا هرچه ساختار ژلی و شبکه پروتئینی نمونه‌های ماست از سفتی بیشتری برخوردار باشد، نیروی چسبندگی نیز بیشتر خواهد بود که نتایج حاصل از سختی نیز آن‌را تأیید می‌کند. همچنین چسبندگی نیز مانند شاخص سفتی تحت تأثیر شبکه سه بعدی ضعیف ایجاد شده توسط صمغ و تغییرات پروتئینی در مقایسه با شبکه سه بعدی پروتئین‌های شیر قرار می‌گیرد (معتمدزادگان و همکاران 1392). Gauche و همکاران (2009) با بررسی تأثیر افزودن آب پنیر مایع به ماست دریافتند که چسبندگی در نمونه‌های حاوی مقدار بیشتر آب پنیر مایع کمتر بود. کاستیلا و همکاران (2004) نشان دادند که بافت ماست‌های حاوی کنسانتره ی آب پنیر و مخلوط کنسانتره و میکروذرات آب پنیر مشابه ماست‌های با چربی معمولی بود، در حالی که ماست‌های حاوی میکروذرات آب پنیر کشش و نرمی

کمتر اما چسبندگی بالاتری داشتند. براساس نتایج پژوهش هررو و همکاران (2006)، افزودن cwp به شیر بز منجر به افزایش معنی دار چسبندگی شد.

ویژگی‌های رئولوژیکی تغییر شکل کوچک ماست چکیده (آزمون کرنش متغیر)

شکل4 آزمون کرنش متغیر را برای تیمار شماره 1 (جدول 3) در دمای 20°C نشان می‌دهد.



شکل4- نمودار مدول الاستیک (G´) و مدول ویسکوز (G˝) در برابر کرنش تیمار شماره 1 (حاوی 6 درصد mpc، 2 درصد cwp و 0/05 درصد صمغ کنجاک) (در فرکانس 1 هرتز و در دمای 20°C)

جدول 4- پارامترهای حاصل از آزمون کرنش متغیر نمونه‌های ماست چکیده (دمای 20°C و فرکانس یک هرتز)

تیمار	G'_{LVE} (Pa)	G''_{LVE} (Pa)	γ_c (%)	τ_y (Pa)	$\tan\delta_{LVE}$	τ_f (Pa)	G_f (Pa)
1	514	164	0/3143	0/4036	2/04	18/57	60/03
2	56/57	26/42	0/4557	0/2845	3/47	8/64	19/06
3	525/2	152/9	0/4224	2/31	3/43	11/54	14/16
4	586/6	168/7	0/4204	2/566	2/91	18/57	40/83
5	485/6	133/9	0/9865	4/969	3/09	17/89	84/64
6	586/6	168/7	0/4204	2/566	3/02	18/57	40/83
7	122/6	38/11	0/3143	0/4036	3/13	5/39	8/09
8	171/8	49/99	0/3103	0/5552	3/62	6/65	14/5
9	750/1	242/2	0/236	1	3/43	23/11	37/81
10	245/6	84/18	1/321	3/429	3/43	12/9	66/63
11	308/2	101/8	1/325	4/302	3/21	15/49	25/58
12	22/54	11/01	2/344	0/5879	2/14	8/54	10/7
13	525/2	152/9	0/4224	2/31	3/47	11/54	14/16
14	750/1	242/2	0/236	1/86	3/09	23/11	37/81

دو ناحیه مختلف در شکل 4 قابل مشاهده است. ناحیه اول شامل ناحیه ویسکوالاستیک خطی (LVE) می‌باشدکه در آن مدول الاستیک (G´) و ویسکوز(G˝) تقریباً ثابت بوده اما مدول الاستیک بزرگ‌تر از مدول ویسکوز است که مبین رفتار جامدگونه[4] می باشد. ناحیه دوم، ناحیه غیرخطی است که در آن G´ و G˝ با افزایش کرنش

1 Solid-like

شروع به کاهش نموده و پس از نقطه تلاقی[5] (نقطه جریان) ″G بزرگ‌تر از ′G شده و نمونه‌ها رفتار مایع‌گونه[6] نشان دادند. در این آزمون، تنش یا کرنش متناظر با شروع رفتار غیرخطی و کاهش سریع مدول الاستیک را کرنش بحرانی (γ_c) یا تنش بحرانی (τ_y) می‌نامند. در نمونه 1، با افزایش تنش پیوندهایی که شبکه را کنار هم نگه می‌دارد شروع به پاره شدن می‌کند، یعنی در یک میزان بحرانی تنش (τy) ساختار شبکه به‌هم می‌خورد که در طی آن 'G با شیب تندی کم می‌شود (Pai *et al*., 2002).

پارامترهای حاصل از آزمون کرنش متغیر شامل مدول الاستیک در ناحیه خطی (G'_{LVE})، مدول افت در ناحیه خطی (G''_{LVE})، کرنش بحرانی (γ_c)، تنش تسلیم (τy)، تانژانت اتلاف در ناحیه خطی (Tan $_{\delta LVE}$)، تنش تسلیم در نقطه جریان (τ_f) و مدول الاستیک در نقطه جریان (G_f: G' = G") نمونه‌های ماست چکیده در دمای 20°C و فرکانس یک هرتز در جدول 4 نشان داده شده است.

مدول الاستیک و ویسکوز در ناحیه خطی (G' LVE و G" LVE)

نتایج تحقیق نشان داد که G'_{LVE} و G''_{LVE} نمونه‌های مورد آزمون به‌ترتیب بین 22/54 تا 750/1 و 11/01 تا 242/1 پاسکال متغیر بود. بر اساس نتایج تحلیل واریانس مدل متقاطع منتخب (Cubic× Quadratic)، برای هردو پاسخ G'_{LVE} و G''_{LVE} اثرات متقابل mpc-kg، cwp-kg و cwp-mpc-kg در سطح 99 درصد بر روی G'_{LVE} و G''_{LVE} نمونه‌ها معنی‌دار بود درحالی که علاوه بر اثرات فوق اثر متقابل cwp -mpc نیز تنها بر روی G''_{LVE} نمونه‌ها معنی‌دار بود. نتایج پژوهش نشان داد که روند تغییرات G'_{LVE} و G''_{LVE} نمونه‌ها با تغییرات mpc، cwp و صمغ کنجاک تقریبا مشابه یکدیگر است به‌طوری که با افزایش میزان صمغ کنجاک G'_{LVE} و G''_{LVE} نمونه‌ها افزایش یافت. در آزمون‌های نوسانی مدول 'G اساساً به پیوندهای پروتئین- پروتئین وابسته است و مدول "G حاکی از جاذبه‌ها و میان‌کنش‌های ضعیف‌تر است. با افزایش میزان کازئین مدول 'G و نقطه تسلیم ژل افزایش و $\tan\delta$ در آزمون نوسانی کاهش پیدا کرد. Ozer و همکاران (1999) نیز نشان دادند که حداقل درصد پروتئین شیر که به تشکیل ژل می‌انجامد، 3% است.

تنش و کرنش بحرانی

تعیین کرنش متناظر با پایان محدوده خطی ویسکوالاستیک، معیاری از میزان قدرت ساختمانی یا قابلیت حفظ شکل به تنش‌های مکانیکی وارده به محصول هنگام حمل و نقل می‌باشد. نتایج تحقیق نشان داد که γ_c و τ_y نمونه‌های مورد آزمون به‌ترتیب بین 0/23 تا 2/34 درصد و 0/28 تا 4/96 پاسکال متغیر بود. Clark و همکاران (1987) گزارش کردند که ناحیه خطی در محلول‌های رقیق کمتر از محلول‌های غلیظ است و محلول های غلیظ کمتر از ژل‌ها می‌باشد. در حالی‌که این مقدار در ژل‌های کلوئیدی به‌ندرت بیشتر از 0/1 درصد است. همچنین ناحیه خطی بزرگتری برابر با 1% و یا بیشتر برای ژل‌های بیوپلیمری طبیعی وجود دارد. Heldman و همکاران (2007) گزارش کردند که LVE برای بیشتر مواد غذایی جامد نرم در دامنه 0/1-2 درصد است. از این رو، با درنظر گرفتن کرنش بحرانی، نمونه‌های ماست چکیده ژل نسبتاً ضعیفی تولید نمود. Ozer و همکاران (1999) نشان دادند که کرنش بحرانی ویسکوالاستیک برای ماست چکیده (لبنه) 0/02 درصد بود. Paulsson و همکاران (1990) دامنه کرنش 0/01 درصد در فرکانس 1 هرتز را به‌عنوان کرنش بحرانی جهت بررسی تشکیل ژل حرارتی بتالاکتوگلوبولین در نظر گرفتند. بیشتر تحقیقات برروی محصولات لبنی ژل‌مانند با استفاده از دامنه کرنش کمتر از 0/05 درصد در فرکانس 1 هرتز انجام شده است از این رو در این تحقیق نیز کرنش 0/01 درصد در آزمون فرکانس متغیر در نظر گرفته شد تا کاملاً در ناحیه خطی قرار داشته باشد و ساختار ژل در طی اعمال کرنش دست نخورده باقی بماند.

بر اساس نتایج تحلیل واریانس مدل متقاطع منتخب (Cubic× Quadratic) برای هر دو پاسخ γ_c و τ_y اثرات mpc-kg و cwp-kg در سطح 95 درصد بر روی γ_c و τ_y نمونه‌ها معنی‌دار بود این در حالی است که علاوه بر اثرات فوق اثر متقابل cwp- mpc نیز تنها بر روی γ_c نمونه‌ها تأثیر معنی‌داری نشان داد. همچنین نتایج پژوهش نشان داد که در مقادیر بالای cwp و مقادیر پایین mpc با افزایش میزان صمغ کنجاک γ_c نمونه‌ها افزایش یافت. احتمالاً افزایش صمغ کنجاک باعث تقویت ژل ماست گردیده است. در حقیقت افزایش کرنش بحرانی نشان دهنده زمان بیشتر تعاملات ساختار پلیمری نمونه‌ها است و در نتیجه با گذشت زمان پیوندهایی جدید جایگزین پیوندهایی می‌شود که با اعمال کرنش خارجی در آزمون تنش برشی با دامنه نوسانی کم شکسته شده‌اند. Steff (1996) گزارش کرد که ژل‌های قوی در مقایسه با انواع ضعیف زمان بیشتری را در حالت خطی باقی می‌مانند. همچنین بر اساس نتایج این پژوهش، در مقادیر کم صمغ کنجاک با افزایش میزان mpc و کاهش میزان cwp، τy نمونه‌ها افزایش یافت در حالی‌که τ_y در نمونه‌های حاوی بالای مقادیر صمغ با افزایش میزان mpc و کاهش میزان cwp کاهش پیدا کرد. Kuecuekcetin (2008) نشان داد که تنش بحرانی ماست همزده به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر نسبت پروتئین‌های سرم به کازئین قرار گرفت.

---
5 Crossover point
6 Liquid-like

تانژانت اتلاف[7]

تانژانت اتلاف (δ) نمونه‌ها بـین 0/28 و 0/53 متغیـر بـود. ایـن مقادیر با توجه به این‌که کمتر از یک و بزرگ‌تر از 0/1 بودند نشان از حضور ساختار الاستیک در ژل ضعیف بیوپلیمری داشتند. همچنین از آنجاییکه هیچ‌یک از نمونه‌ها ژل واقعی نبودند، درگیری رشـته‌هـا و ارتباطات ماکرومولکول‌ها موقتی بوده و می‌توانند در درجه برش‌هـای بالا از هم گسیخته شوند (Naji *et al*., 2017). نتایج بررسی‌ها نشان داد کـه هـیچ کـدام از اثـرات خطـی، درجـه دوم و متقابـل افـزودن کربوکسی متیل سلولز، صمغ کنجاک و صمغ دانه مرو بر روی تـنش تسلیم نمونه‌های ماست چکیده معنـی‌دار نبـود کـه مشـخص‌کننـده یکسان بودن طبیعت و نوع نیروها و برهم‌کنش بین نمونـه هـا بـود (Ozer *et al*., 1999).

تنش تسلیم و مدول الاستیک در نقطه جریان (τ_f و G_f)

نتایج تحقیق نشان داد که τ_f و G_f نمونه‌های مورد آزمون به‌ترتیب بین 5/39 تا 23/11 و 8/09 تا 84/64 پاسکال متغیر بود. بر اساس نتایج تحلیل واریانس مدل متقاطع منتخب (Cubic× Quadratic) برای هر دو پاسخ τ_f و Gf اثر متقابل mpc-kg در سطح 95 بر روی τ_f و G_f نمونه‌ها معنی‌دار بود درحالی‌که علاوه بر اثرات فوق اثر متقابل mpc - cwp تنها بر روی τ_f و اثر متقابل cwp -kg تنها بر روی G_f نمونه‌ها معنی‌دار بود.

همچنین بر اساس نتایج روند تغییرات G_f و τ_f نمونه‌ها با تغییرات mpc، cwp و صمغ کنجاک تقریباً مشابه یکدیگر است به‌طوری‌که با افزایش میزان صمغ کنجاک در نمونه‌هایی که دارای مقادیر بالای cwp بودند، G_f و τ_f افزایش یافت در حالی‌که در نمونه‌های دارای مقادیر بالای mpc، منجر به کاهش G_f و τ_f نمونه‌ها گردید. این تغییرات به‌علت ایجاد تغییرات در اتصالات پروتئین- پروتئین و همچنین به‌علت افزایش ظرفیت اتصال به آب صمغ کنجاک (خاصیت جذب آب بالای آن) که سبب کاهش جریان‌پذیری و افزایش مقاومت نمونه در برابر جاری شدن می‌شوند، بود.(Tamime *et al*., 1985).

ارزیابی حسی

امتیاز سفتی

نتایج پژوهش نشان داد که امتیاز سفتی نمونه‌های مورد آزمون بین 1/83 تا 4/2 متغیر بود. بر اساس نتایج تحلیل واریانس مدل اثرات mpc-kg و cwp -kg و cwp- mpc-kg در سطح 95 درصد بر روی امتیاز سفتی نمونه‌ها تأثیر معنی‌داری داشت در حالی‌که اثرات خطی mpc و cwp بر روی امتیاز سفتی نمونه‌ها معنی‌دار نبود. همچنین نتایج نشان داد که در مقادیر کم صمغ کنجاک با تغییرات میزان mpc و cwp امتیاز سفتی نمونه‌ها افزایش یافت. این در حالی است که در مقادیر بالای صمغ کنجاک با افزایش میزان mpc و کاهش میزان cwp امتیاز سفتی نمونه‌ها ابتدا افزایش و سپس کاهش نشان داد. از آنجایی‌که یکی از خصوصیات عملکردی cwp ایجاد ژل است با افزایش نسبت پروتئین‌های سرم به کازئین، خصوصیات ژل ایجاد شده تغییر خواهد یافت. صمغ کنجاک نیز جذب آب قابل توجهی دارد و تحقیقات نیز نشان داده است که که 1 گرم کنجاک می‌تواند 100-50 گرم آب را جذب نماید (Koroskenyi *et al.*, 2001). Lucey و همکاران (1998) نشان دادند که افزایش پروتئین‌های سرم در ماست منجر به ایجاد بافت دانه‌ای در آن می‌شود.

امتیاز چسبندگی

نتایج پژوهش نشان داد که امتیاز چسبندگی نمونه‌های مورد آزمون بین 2/42 تا 3/81 متغیر بود. بر اساس نتایج تحلیل واریانس مدل منتخب متقاطع (Cubic× Quadratic)، اثرات cwp -mpc و mpc-kg و cwp -kg و cwp- mpc-kg همچون امتیاز سفتی در سطح 95 درصد بر روی امتیاز چسبندگی نمونه‌ها نیز معنی‌دار بود. همچنین نتایج نشان داد که با افزایش میزان صمغ کنجاک در نمونه‌هایی که دارای مقادیر بالایی cwp هستند امتیاز چسبندگی افزایش یافت در حالی‌که با افزایش صمغ کنجاک در نمونه‌هایی که حاوی مقادیر بالایی mpc هستند امتیاز چسبندگی کاهش پیدا کرد. Agob و همکاران (2007) نشان دادند که به‌طور میانگین هیدروکلوئید حاصل از کنجاک در غذاهای معمولی به میزان 0/1 تا 1 درصد به منجر به افزایش چسبندگی می‌شود.

امتیاز ذوب شوندگی

نتایج پژوهش نشان می‌دهد که امتیاز ذوب شوندگی نمونه‌های مورد آزمون بین 2/16 تا 3/22 متغیر بود. بر اساس نتایج تحلیل واریانس مدل منتخب متقاطع (Quadratic x Linear) اثرات cwp -mpc و mpc-kg و cwp -kg و cwp- kg در سطح 95 درصد بر روی امتیاز ذوب شوندگی نمونه‌ها اثر معنی‌داری داشت. همچنین مشاهده شد که در مقادیر کم صمغ کنجاک با تغییرات میزان mpc و cwp امتیاز ذوب شوندگی نمونه‌ها افزایش می‌یابد در حالی‌که در مقادیر بالای صمغ کنجاک با افزایش میزان mpc و کاهش میزان cwp امتیاز ذوب شوندگی نمونه‌ها تقریباً کاهش یافت که تغییرات امتیاز ذوب شوندگی می‌تواند ناشی از شدت پایداری شبکه ژلی به علت تغییرات میزان mpc و cwp در مقادیر مختلف صمغ کنجاک باشد. Lucey (2009) نشان داد که ژل ماست‌های حاوی cwp شکننده بوده و در دهان سریع ذوب نمی‌شدند و احساس دهانی مطلوبی را نیز ایجاد نکردند.

7 Loss tangent

نتایج پژوهش نشان داد که امتیاز مزه ترش نمونه‌های مورد آزمون بین 1/55 تا 3/43 متغیر بود. بر اساس نتایج تحلیل واریانس مدل منتخب متقاطع (Cubic× Quadratic) اثر خطی mpc و cwp و اثرات متقابل mpc- cwp و mpc-kg و cwp -kg و cwp- mpc-kg در سطح 95 درصد بر روی امتیاز مزه ترش نمونه‌ها معنی‌دار بود. همچنین مشاهده شد در مقادیر کم صمغ کنجاک با افزایش میزان mpc و کاهش cwp امتیاز مزه ترش نمونه‌ها افزایش می‌یابد در حالی‌که در مقادیر بالای صمغ کنجاک با افزایش میزان mpc و کاهش میزان cwp امتیاز مزه ترش تقریباً کاهش یافت. بر اساس بررسی‌های کاکوئی و همکاران (1386) جایگزین کردن wpc به‌جای شیر خشک هیچ‌گونه عطر و آرومای غیرطبیعی توسط ارزیاب‌ها اساس نشد که این نتایج را به دلیل بالا بردن دی‌استیل و اسیدیته نمونه‌ها نسبت به نمونه‌های شاهد و نقش غالب‌تر اسیدیته نسبت به ترکیبات معطر بر اساس عطر و طعم دانسته‌اند.

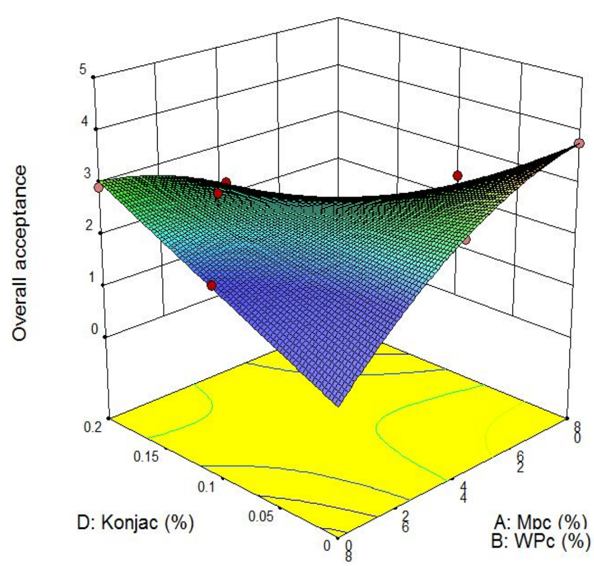
امتیاز رنگ

امتیاز رنگ نمونه‌های مورد آزمون بین 3 تا 4/05 متغیر بود. همچنین نتایج بررسی‌ها نشان داد که هیچ‌کدام از اثرات خطی، درجه دوم و متقابل حضور mpc، cwp و صمغ کنجاک بر روی امتیاز رنگ نمونه‌ها معنی‌دار نبود.

پذیرش کلی

نتایج پژوهش نشان می‌دهد که پذیرش کلی نمونه‌های مورد آزمون بین 1/94 تا 3/77 متغیر بود. بر اساس نتایج تحلیل واریانس مدل منتخب متقاطع (Quadratic x Linear) اثر خطی mpc و cwp و اثرات متقابل mpc- cwp و mpc-kg و cwp -kg و cwp- mpc-kg در سطح 95 درصد بر روی پذیرش کلی نمونه‌ها معنی‌دار بود. شکل5 تأثیر mpc، cwp و صمغ کنجاک بر روی پذیرش کلی نمونه‌های ماست چکیده را با توجه به معادله y_1 جدول 3 نشان می‌دهد.

همان‌طور که در شکل 5 مشاهده می‌شود با افزایش میزان صمغ کنجاک در نمونه‌های دارای مقادیر بالای cwp پذیرش کلی افزایش یافت ولی در نمونه‌های حاوی مقادیر بالای mpc، کاهش نشان داد. از طرفی در مقادیر کم صمغ کنجاک با افزایش میزان mpc و کاهش cwp پذیرش کلی نمونه‌ها افزایش پیدا کرد این در حالی است که در مقادیر بالای صمغ کنجاک با افزایش میزان mpc و کاهش میزان cwp پذیرش کلی نمونه‌ها کاهش یافت. Sugli و همکاران (2007) دریافتند که نسبت کازئین به پروتئین‌های سرم تا 0/7 در ماست‌های معمولی می‌تواند منجر به تفاوت معنی‌داری در ویژگی‌های حسی، بافت و احساس دهانی شود. آن‌ها همچنین عنوان کردند که افزودن کنسانتره پروتئین آب پنیر به ماست پذیرش کلی نمونه‌ها را کاهش داد. Agob و همکاران (2007) نیز نشان دادند استفاده از صمغ کنجاک در تشکیل ژل‌ها، احساس دهانی مشابه روغن یا خامه را ایجاد می‌نماید.

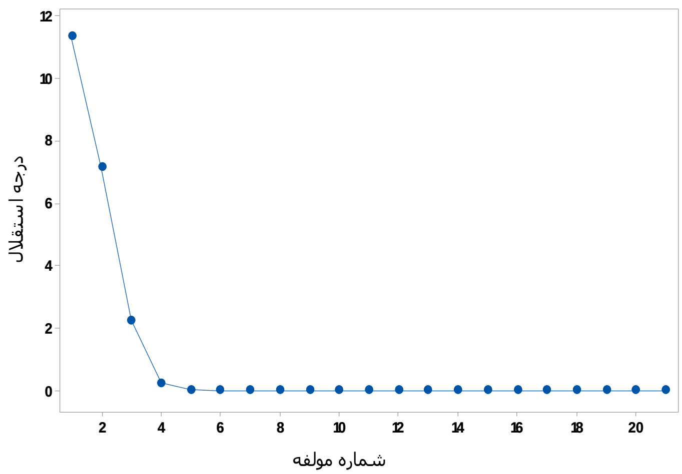


شکل 5- تأثیر mpc، cwp و صمغ کنجاک بر روی پذیرش کلی نمونه‌های ماست چکیده

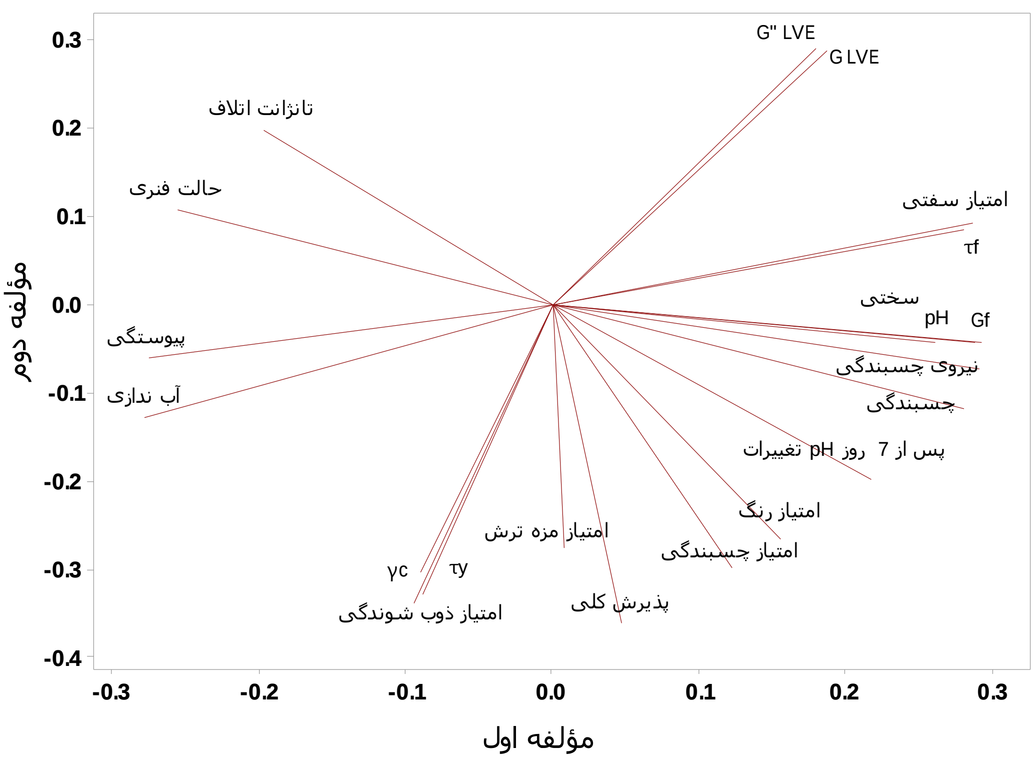
همبستگی بین خصوصیات حسی، فیزیکوشیمیایی و رئولوژیکی

آنالیز مؤلفه‌های اصلی (PCA)

جهت بررسی رابطه بین پارامترهای حسی، فیزیکوشیمیایی و رئولوژیکی نمونه‌های ماست چکیده، نمودار پراکنش آن‌ها در فضای PC مورد استفاده قرار گرفت. همان طور که در شکل 6 مشاهده می‌شود از مجموع 21 مؤلفه که با درجات استقلال متفاوت تعریف شده‌اند فقط دو مؤلفه دارای درجه استقلال بالا می‌باشند که به‌عنوان مؤلفه‌های اصلی اول و دوم در نظر گرفته شدند. بنابراین مولفه‌های اصلی PCA داده‌های مربوط به 20 نمونه ماست چکیده با دو مؤلفه اصلی به‌ترتیب 41/68% و 17/75% واریانس محاسبه شده‌اند.



شکل 6- مؤلفه‌های اصلی به‌عنوان تابعی از درجه استقلال نمونه‌های ماست چکیده



شکل 7- سهم ویژگی‌های دستگاهی و حسی اندازه‌گیری شده در دو مؤلفه اصلی اول و دوم

شکل 7 پراکنش پارامترهای حسی، فیزیکوشیمیایی و رئولوژیکی را بر مبنای دو مؤلفه اول و دوم نشان می‌دهد. همانطور که از موقعیت صفات در فضای PC مشاهده می‌گردد، صفات دستگاهی اندازه‌گیری شده تنش و کرنش بحرانی در مجاورت هم و نزدیک به امتیاز ذوب شوندگی نمونه‌ها قرار گرفته‌اند. همچنین تنش تسلیم در نقطه جریان و امتیاز سفتی صفت حسی، مدول الاستیک در نقطه جریان و سختی، تانژانت اتلاف و حالت فنری، مدول الاستیک و مدول ویسکوز در ناحیه خطی، پیوستگی و آب اندازی در مجاورت هم بودند. مجاورت صفات حاکی از آن است که صفات اندازه گیری شده توسط ارزیاب‌ها تقریباً معادل پارامترهایی است که توسط روش‌های دستگاهی اندازه‌گیری شده‌اند. علاوه بر این، رابطه نزدیکی بین امتیاز مزه ترش با پذیرش کلی نمونه‌ها وجود داشت که این امر نشان می‌دهد که از بین صفات اندازه‌گیری شده، امتیاز مزه ترش دارای اهمیت بالاتری نسبت به سایر پارامترها برای پذیرش کلی مصرف‌کنندگان بود. Di Monaco و همکاران (2008) و Barangou و همکاران (2006) رابطه و همبستگی بالایی بین سختی بافت دستگاهی و سفتی بافت حسی را گزارش نمودند. از بررسی ارتباط بین پارامترهای بافتی و ویژگی‌های حسی می‌توان در جهت بهینه‌سازی کمی و دستگاهی خصوصیات بافتی مواد غذایی استفاده نمود.

ضریب همبستگی میان داده‌های حسی، فیزیکوشیمیایی و رئولوژیکی

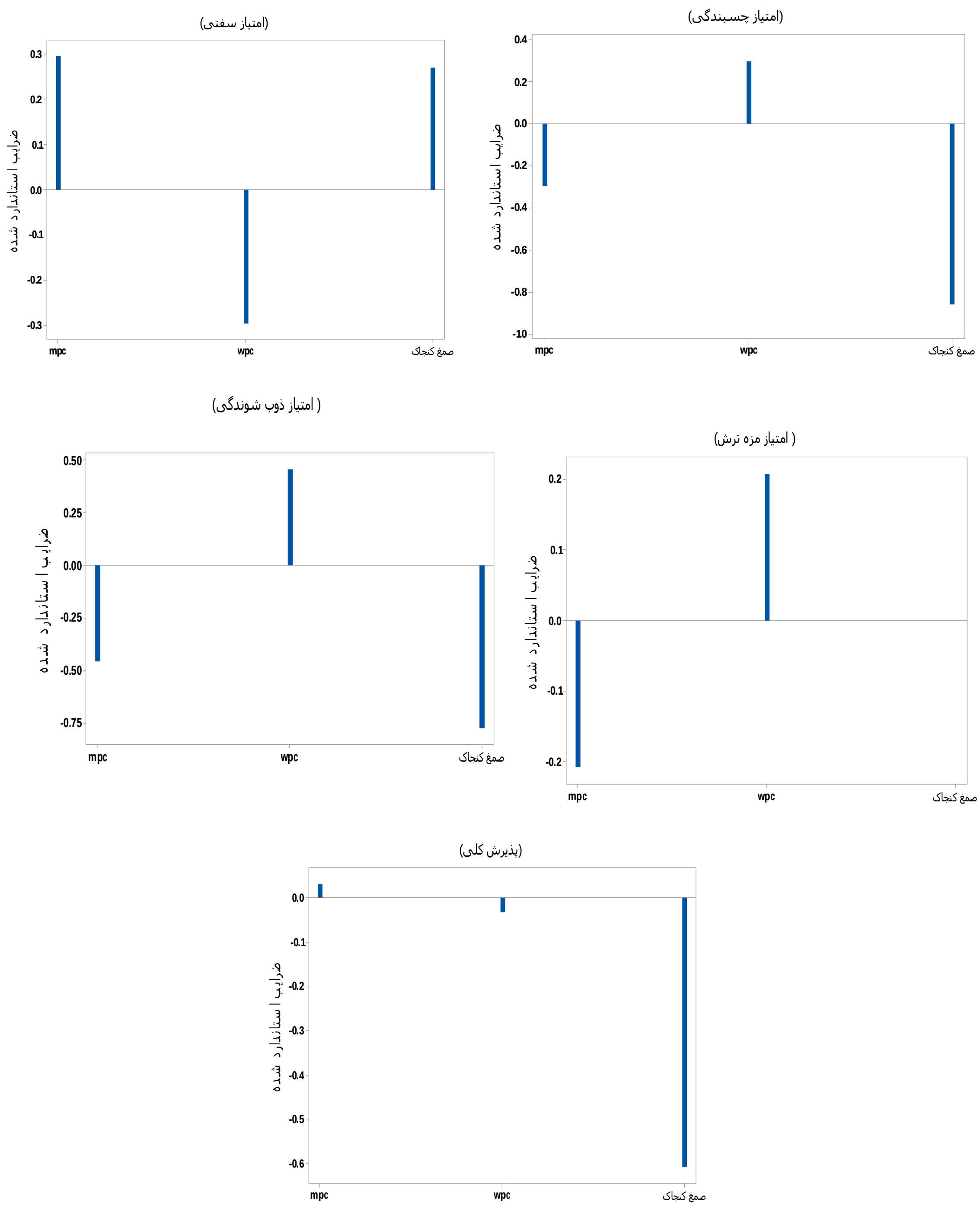
ارتباط میان اندازه‌گیری‌های خصوصیات فیزیکوشیمیایی، رئولوژیکی و ارزیابی حسی نمونه‌های ماست چکیده در جدول 5 نشان داده شده است. با توجه به داده‌های این جدول، بالاترین میزان ارتباط بین نیروی چسبندگی و امتیاز چسبندگی (یک ارتباط خطی مثبت قوی (0/915))، G'_{LVE} و امتیاز سفتی (یک ارتباط خطی مثبت قوی (0/863)) سختی و امتیاز سفتی (یک ارتباط خطی مثبت قوی (0/666)) و تانژانت اتلاف و و امتیاز سفتی (یک ارتباط خطی مثبت قوی (0/887)) می‌باشد از طرفی همبستگی امتیاز مزه ترش با سختی (0/796-)، چسبندگی (0/845)، تنش تسلیم در نقطه جریان (0/695) و مدول الاستیک در نقطه جریان (0/888-) قابل توجه است بدین معنی است که افزایش امتیاز مزه ترش همراه است با کاهش سختی و مدول الاستیک در نقطه جریان و افزایش چسبندگی و تنش تسلیم در نقطه جریان. این داده‌ها نشان‌دهنده راهکاری مفید برای صنعت می‌باشد، چرا که استفاده از داده‌های دستگاهی در مقابل داده‌های حسی (نیازمند آموزش پانلیست و هزینه زیاد) از دقت بالاتری و با هزینه کمتری امکان‌پذیر است و می‌توان از این طریق میزان پذیرش مصرف کننده را تخمین زد (Gonzalez Vinas *et al.*, 2007).

جدول 5- ضریب همبستگی میان داده‌های حسی، فیزیکوشیمیایی و رئولوژیکی ماست چکیده

	امتیاز سفتی	امتیاز چسبندگی	امتیاز ذوب شوندگی	امتیاز مزه ترش	پذیرش کلی
تغییرات pH	-0/153	-0/280	0/016	-0/126	-0/572
آب اندازی	0/097	-0/018	0/135	-0/350	0/023
سختی	0/666	0/726	0/535	-0/796	-0/229
پیوستگی	-0/439	0/101	-0/038	-0/240	-0/004
چسبندگی	0/691	0/621	0/569	0/845	-0/426
نیروی چسبندگی	0/449	0/915	0/500	0/722	-0/304
G'_{LVE} (Pa)	0/863	0/082	0/304	0/306	-0/190
G''_{LVE} (Pa)	0/845	0/032	0/232	0/269	0/226
γ_c (%)	0/267	0/386	-0/202	0/119	-0/002
τ_y (Pa)	-0/103	-0/254	-0/111	-0/206	-0/430
τ_f (Pa)	0/556	0/549	0/451	0/695	0/337
$\tan\delta_{LVE}$	0/887	0/232	0/361	0/486	-0/317
G_f (Pa)	-0/748	0/538	0/520	-0/888	-0/145

ضریب اهمیت در رگرسیون PLS

برای مشخص نمودن ضریب اهمیت و تأثیر متغیرهای وابسته مورد بررسی در این مطالعه، صفات حسی ماست چکیده مانند امتیاز سفتی، امتیاز چسبندگی، امتیاز ذوب شوندگی، امتیاز مزه ترش و پذیرش کلی با تک تک متغیرهای مستقل (cwp ،mpc و صمغ کنجاک) نمودار ضرایب استاندارد شده برای متغیرهای وابسته در رگرسیون در شکل 8 نشان داده شد. در این اشکال هرچه فاصله اثر به عدد یک نزدیک‌تر و یا بیشتر باشد اهمیت بالاتری پیدا می‌کنند.



شکل 8- ضریب اهمیت تخمین زده شده به‌وسیله رگرسیون PLS بین متغیرهای مستقل با متغیرهای وابسته صفات حسی نمونه‌های ماست چکیده

بنابراین همان‌طور که در شکل 8 مشاهده می‌گردد mpc بالاترین اهمیت مثبت را در خصوص امتیاز بافت داشت در حالی‌که بر امتیاز مزه ترش دارای اهمیت منفی بود، cwp نیز بالاترین اهمیت مثبت را در خصوص امتیاز مزه ترش دارد ولی در مورد امتیاز بافت دارای

اهمیت منفی است. صمغ کنجاک نیز اگر چه بر امتیاز بافت دارای اهمیت مثبت است ولی در مورد پذیرش کلی نمونه‌ها بالاترین اهمیت منفی را دارا می‌باشد.

نتیجه‌گیری

لذا در این پژوهش اثر اجزاء مختلف فرمولاسیون ماست چکیده از جمله کنسانتره پروتئین شیر، پودر آب پنیر و صمغ کنجاک بر روی ویژگی‌های فیزیکوشیمیایی و رئولوژیکی ماست چکیده توسط روش‌های دستگاهی و ارزیابی حسی مورد پژوهش قرار گرفت. بر طبق نتایج حاصل از آزمون اکسترژن برگشتی- آنالیز پروفیل بافت، با افزایش میزان صمغ کنجاک، سختی، چسبندگی و نیروی چسبندگی نمونه‌ها نیز به‌طور معنی‌داری به‌ویژه برای نمونه‌های حاوی cwp بالاتر افزایش یافت در حالی‌که در مقادیر بالای صمغ کنجاک با افزایش میزان mpc و کاهش میزان cwp پیوستگی نمونه‌ها کاهش نشان داد. بر اساس آزمون کرنش متغیر نیز با افزایش میزان صمغ کنجاک، G' LVE، G'' LVE، γc ، τy ، τf و Gf نمونه‌ها نیز به‌طور معنی‌داری برای نمونه‌های حاوی cwp بالاتر افزایش یافت. نتایج حاصل از بررسی همبستگی بین خصوصیات حسی، فیزیکوشیمیایی و رئولوژیکی نشان داد که صفات اندازه‌گیری شده توسط ارزیاب‌ها تقریباً معادل پارامترهایی هستند که توسط روش‌های دستگاهی اندازه‌گیری شده‌اند. بنابراین نتایج آزمون‌های اندازه‌گیری دستگاهی در بیشتر موارد به‌خوبی می‌تواند صفات حسی ماست چکیده را پیش‌بینی کند. در نتیجه اندازه‌گیری خصوصیات رئولوژیکی ماست چکیده به‌روش دستگاهی می‌تواند جایگزین بخشی از روش ارزیابی حسی به‌منظور ارزیابی کیفیت آن گردد. علاوه بر این، رابطه نزدیکی بین امتیاز مزه ترش با پذیرش کلی نمونه‌ها وجود داشت که این امر نشان می‌دهد که از بین صفات اندازه‌گیری شده، امتیاز مزه ترش دارای اهمیت بالاتری نسبت به سایر پارامترها برای پذیرش کلی مصرف‌کنندگان می‌باشد.

منابع

کاکویی، ح.، احسانی، م.ر. و مظلومی، م.ت 1386. بررسی تغییرات دی استیل و ویژگی های حسی ماست هـای غنـی شـده بـا کنسـانتره پروتئینی آب پنیر در جایگزینی شیر خشک. فصلنامه علوم و صنایع غذایی ایران، 4 (2)31-37.

معتمدزادگان، ع.، شهیدی، ا.، حسینی پرور، ه. و ابدالی، س.1392. بررسی اثر نوع ژلاتین بر ویژگی های کاربردی ماست قالبی فاقد چربی. فصلنامه علوم و صنایع غذایی، شماره 47، صفحات 221-230.

ید ملت ، م.، جوینده، ح. و حجتی، م. 1396. تأثیر صمغ فارسی و صمغ دانه بـالنگو شـیرازی بـر ویژگیهـای بـافتی ماسـت همـزده کـم چرب.نشریه پژوهش های صنایع غذایی، 27 (4)، 171 - 181.

AOAC. 1995. Official Method of Analysis, 15th edn. Association of Official Analytical Chemists, Washington, DC, USA.

Aziznia, S., Khosrowshahi, A., Madadlou, A., & Rahimi, J. 2008. Whey Protein Concentrate and Gum Tragacanth as Fat Replacers in Nonfat Yogurt: Chemical, Physical, and Microstructural Properties. *Journal of Dairy Science*, 91, 2545–2552.

Baig, M.I. & Prasad, V. 1996. Effect of incorporation of cottage cheese whey solids and Bifidobacterium bifidum in freshly made yogurt. *Journal of Dairy Research*, 63, 467–473.

Balaghi, S., Mohammadifar, M. A., Zargaraan, A., Ahmadi Gavlighi, H., & Mohammadi, M. 2011. Compositional analysis and rheological characterization of gum tragacanth exudates from six species of Iranian Astragalus. *Food Hydrocolloids*, 25, 1775–1784.

Barangou, L.M., Drake M, Daubert, C.R., & Foegeding, E.A.2006. Textural properties of agarose gels. Relation between rheological properties and sensory texture: Food Hydrocolloids, 20: 196-203.

Bourne, M. C. 1978. Texture profile analysis. *Food Technology*, 32, 62–66, 72.

Chua, M., Chan, K., Hocking, T.J., Williams, P.A., Perry, C.J., & Baldwin, T.C. 2012. Methodologies for the extraction and analysis of konjac glucomannan from corms of Amorphophallus konjac K. Koch. *Carbohydrate Polymers*, 87(3), 2202–2210.

Clark, A.H., & Ross-Murphy, S.B. 1987. Structural and mechanical properties of biopolymer gels. *Advance Polymer Science*, 83, 57– 192.

Dal Belloa, L.H.A., & Vieirab, A.F.C. 2011. Optimization of a product performance using mixture experiments including process variables, *Journal of Applied Statistics*, 38(8), 1701–1715.

Debon, J., Prudencio, E.S., & Petrus, J.C.C. 2010. Rheological and physico-chemical characterization of prebiotic microfiltered fermented milk. *Journal of Food Engineering*, 99, 128–135.

Desmazeaud, M.J., & Hermier, J.H. 1972. Isolation and determination of qualitative compositon of peptides from casein which enhance the growth of Streptococcus thermophilus, *European Journal of Biochemistry*, 28, 190–

198.

Di Monaco, R., Cavella, S., & Masi, P.2008. Predicting sensor y cohesiveness, hardness and springness of solid foods from instrumental measur ements. Journal of Texture Studies, 39:129-149.

Fox, P.F. 2003. The major constituents of milk. In: *Dairy Processing, Improving Quality* (ed. G Smit), pp. 5–41, CRC Press LLC, Boca Raton, FL.

Gambaro, A., Fiszman, S., Gimenez, A., Varela, P. & Salvador. A., 2004, Consumer acceptability compared with sensory and instrumental measures of white pan bread: sensory shelf-life estimation by survival analysis. *Journal of Food Science*, 69(9), S401-S405.

Gauche, C., Tomazi, T., Barreto, P. L. M., Ogliari, P. J., & Bordignon-Luiz, M. T. 2009. Physical properties of yoghurt manufactured with milk whey and transglutaminase. *LWT-Food Science and Technology*, 42(1), 239–243.

GonzalezVinas, MA. Ballesteros, C., Martín-Alvarez, PJ. & Cabezas, L., 2007, Relationship between sensory and instrumental measurements of texture for artisanal and industrial Manchego cheeses. *Journal Sens Stud*, 22, 462– 476.

Hassan, A.N., Frank, J.F., Schmidt, K.A. & Shalabi, S.I. 1996. Rheological properties of yogurt made using encapsulated nonropy lactic cultures, *Journal of Dairy Science*, 79, 2091–2097.

Heldman, D.R., & Lund, D.B. 2007. Handbook of Food Engineering, 2nd edn. Pp. 12–15, 25–30, 36–40, New York, NY, USA, CRC Press.

International IDF standard 99C:1997. Sensory evaluation of dairy products by scoring. Part IV: Recommended method for sensory evalution of cheese. *International Dairy Federation*.

Jumah, R. Y., Abu-Jdayil, B., & Shaker R. R. 2001. Effect of type and level of starter culture on the rheological properties of set yogurt during gelation process. *International journal of food properties*, 4 (3), 531–544.

Koroskenyi, B., & McCarthy, S. P. 2001. Synthesis of acetylated konjac glucomannan and effect of degree of acetylation on water absorbency. *Biomacromolecules*, 2(3), 824-826.

Krzeminski, A., Großhable, K., & Hinrichs, J. 2011. Structural properties of stirred yoghurt as influenced by whey proteins. *LWT-Food Science and Technology*, 44(10), 2134–2140.

Kuecuekcetin, A. (2008). Effect of heat treatment of skim milk and final fermentation pH on graininess and roughness of stirred yogurt. *International Journal of Dairy Technology*, 61(4), 385–390.

Lanzanova, M., & Neviani, E. 1993. Analysis of Conductance Changes as a Growth Index of Lactic Acid Bacteria in Milk, *Journal of Dairy Science* ,76(1), 20–28 ·

Lowe, E. 2004. Process for producing yoghurt with controlled texture and consistency. US Patent, 19US10569024.

Lucey, J. A. 2009. Milk protein gels. In: Milk proteins: from expression to food. Boland, M., Singh, H., & Thompson, A. Elsevier.

Lucey, J. A., & Singh, H. 1997. Formation and physical properties of acid milk gels: a review. *Food Research International*, 30(7), 529–542.

Lucey, J. A., Munro, P. A., & Singh, H. 1998. Rheological properties and microstructure of acid milk gels as affected by fat content and heat treatment. *Journal of Food Science*, 63(4), 660–664.

Lucey, J. A., Tamehana, M., Singh, H., & Munro, P. A. 1998. Effect of interactions between denatured whey proteins and casein micelles on the formation and rheological properties of acid skim milk gels. *Journal of Dairy Research*, 65(04), 555–567.

Mandala, I., Kapetanakou, A., & Kostaropoulos, A. 2008. Physical properties of breads containing hydrocolloids stored at low temperature. II. Effect of freezing. *Food Hydrocolloids*, 22, 1443– 1451.

Naji-Tabasi, S., & Razavi, S. M. A. 2017. New studies on basil (*Ocimum bacilicum* L.) seed gum: Part III – Steady and dynamic shear rheology. *Food Hydrocolloids*, 67, 243–250.

Nsabimana, C., Jiang, B., & Kossah, R. (2005). Manufacturing, properties and shelf life of labneh: a review. *International Journal of Dairy Technology,* 58, 222-231.

Ozer, B.H., & Robinson, R.K. 1999.The Behaviour of Starter Culture in concentrated yoghurt (Labneh) produced by different techniqes. *LWT - Food Science and Technology* , 32, 391–395.

Ozer, B.H., Bell, A.E., Grandison, A.S., & Robinson, R.K. 1998. Rheological properties of concentrated yoghurt (labneh), Journal of Texture Studies, 29, 67–79.

Ozer, B.H., Robinson, R.K., Grandison, A.S. & Bell, A.E. 1997. Comparison of Techniques for Measuring the Rheological Properties of Labneh (Concentrated Yogurt). *International Journal of Dairy Technology*, 50, 129–134.

Ozer, B.H., Stenning, R., Grandison, A.S., & Robinson, R.K. 1999. Rheology and microstructure of labneh (concentrated yoghurt), Journal of Dairy Science, 82, 682–689.

Pai, V.B., & Khan, S.A. 2002. Gelation and Rheology of xanthan/ enzyme-modified guar blends. *Carbohydrate polymers*, 49, 207–216.

Park, Y. W. 2007. Rheological characteristics of goat and sheep milk. *Small Ruminant Research*, 68(8), 73–78.

Paulsson, M., & Dejmek, P. 1990. Rheological Properties of Heat-Induced -lactoglobulin gels. *Journal of Dairy Science*, 73, 45– 53.

Salji, J. 1991 .concentrated yoghurt: a challenge to our food industry.food science and technology today, 5(1), 18–19.

Sodini, I., Montella, J., & Tong, P. S. 2005. Physical properties of yogurt fortified with various commercial whey protein concentrates. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 85(5): 853–859.

Soukoulis, C., Panagiotidis, P., Koureli, R., & Tzia, C. 2007. Industrial yogurt manufacture: monitoring of fermentation process and improvement of final product quality. *Journal of Dairy Science*, 90(6):2641-2654.

Steffe, J.F. (1996). Rheological methods in food process engineering (pp. 17-23). East Lansing, MI. Freeman Press.

Tamime, A. Y., & R. K. Robinson. 1985. Yoghurt: Science and Technology. Pergamon Press, London, United Kingdom. 23 Walstra, P., T. van Vliet, and C.G.B. Bremer. (1990). Page 369-382 in Food Polymers, Gels and Colloids. E. Dickinson, ed. Royal Soc. Chem., Norwich, United Kingdom.

Tamime, A. Y., & Robinson, R. K. 1999. Yoghurt: science and technology. Woodhead Publishing.

Tamime, A.Y. 1993. In *Encyclopaedia of Food Science, Food Technology and Nutrition*, Vol. 7, Ed. byMaCrae, R., Robinson, R.K. and Sadler, M.J., Academic Press, London, pp. 4972–4977.

Tamime, A.Y., Kalab, M. & Davies, G. 1984 Microstructure of Set-Style Yoghurt Manufactured from Cow's Milk Fortified by Various Methods, *Journal of Food Structure*, 3, 83–92.

Tenenhaus, M., Pages, J., Ambroisine, L. & Guinot, C., 2005, PLS methodology to study relationships between hedonic judgments and product characteristics. *Food Quality and Preference*, 16, 315-325.

Van Vliet, T., Lakemond, C. M., & Visschers, R. W. 2004. Rheology and structure of milk protein gels. *Current Opinion in Colloid & Interface Science*, 9(5), 298-304.

Varnam, A.H. & Sutherland, J.P. 1994. In Milk and Milk Products– Technology, Chemistry and Microbiology, Chapman & Hall, London, pp. 346–385.

Walstra, P. 2013. Dairy technology: principles of milk properties and processes. CRC Press.

Walstra, P., Geurts, T. J., Noomen, A., Jellema, A., & van Boekel, M. A. J. S.(1999) Dairy Technology Principles of Milk Properties and Processes, *Marcel Dekker*, New York.

Zhang, L., Xue, Y., Xu, J., Li, Z. & Xue, C. 2015. Effects of deacetylation of konjac glucomannan on Alaska Pollock surimi gels subjected to high-temperature (120℃) treatment, *Food Hydrocolloids*, 43, 125-131.

Iranian Food Science and Technology Research Journal
Vol. 15, No. 5, Dec- Jan 2020, p. 543-563

نشریه پژوهشهای علوم و صنایع غذایی ایران
جلد 15، شماره 5، آذر - دی 1398، ص. 563-543

Evaluation and comparison of Sensory, physicochemical and rheological properties of labane formulation produced by wheyless process using principal component analysis (PCA) and partial least squares regression (PLS regression)

M. Kashaninejad, M. Najaf Najafi[2*], M. Ghods Rohani[2], M. Kashaninejad[3]

Received: 2018.09.02
Accepted: 2019.04.04

Introduction: Labane or concentrated yoghurt is a semi-solid product which is being producedd by dehydration of yoghurt or separation of water and some water-soluble solids from yoghurt. High nutritional value, long shelf life, more desirable taste and texture and feasibility to produce other product are the reasons for high acceptance among customers. There are wide ranges of production methods from traditional methods which are tedious, such as separation of whey by fabric bags, to complicated time-consuming methods which also contaminate product and reduce its nutritional value. These cause demand to establish more suitable methods such as "wheyless process" by dried milk, concentrated milk protein or concentrated whey protein. On the other hand, one of the methods for enhancing firmness and textural properties of yoghurts, similar to other dairy products is utilization of hydrocolloids. These components are used for enhancing rheological an textural properties of food and commonly used as additives for increasing viscosity, gel forming ability, enhancing physical stability, film forming ability, controlling crystallization, postponing syneresis and textural improvement. Konjac gum (KG) is a neutral polysaccharide that derived from Amorphophallus konjac C. Koch tuber, which is well known in east countries during centuries. Ability to hold water and reduction of cholesterol and glucose are the reasons for grossing demand of this gum. So due to the importance of labane produced through wheyless process, the effect of different ingredients of formulation such as milk protein concentrate, cheese whey powder and konjac gum on physicochemical, rheological and sensory properties of labane was investigated and compared these properties by using Principal component analysis (PCA) and Partial least squares regression (PLS regression).

Materials and methods: Cow milk was purchased from local market (Mashhad, Iran). Dried skim milk, milk protein concentrate, cheese whey powder and commercial starter provided from Khorasan Razavi Pegah Company (ABY1, Christian Hansen, Horsholm, Denmark) and KG purchased from Food Chem. (China). In order to concentrate the milk, 3% dried skim milk was added to1 Kg milk. Then, according to the experimental design (table 2), MPC and CWP added to milk at 0, 4, 6 and 8% levels which reached the total solid of milk to 21.5%. KG with percentage of 0, 0.05, 0.1, 0.15, and 0.2% was added to the mixture at 40˚C. The mixtures were homogenized at 50˚C and pasteurized at 90˚C for 1 min. and then cooled to 43-45˚C. The mixtures were incubated at 43-45˚C for 3-4 hours after addition of starter. Then the samples were slowly stirred and packed in polyethylene bags after reaching to suitable pH. The samples were transfered to refrigerator for 24 hours then the tests were conducted. PH was measured according to AOAC 2005 official method NO. 935.42.25 gr of samples were centrifuged at 4˚C for 10 min. at 4500 rpm. Syneresis was evaluated as parentage of separated serum. Texture analyzer was used for combination of back extrusion and texture profile analysis (TPA) test. 50 mm in diameter cylinder with 10 mm in height and probe with 4 mm diameter and 100 mm height with the speed of 1 mm/s were used to conduct the test. Dynamic rheological parameters were evaluated by rheometer (Parphysica). The devise was equipped by 50mm diameter parallel plate with 2 mm gap. Eheo plus/32 version V3.40 software was used to measure elastic modulus (G'), loss modulus (G") and η*.

Results & discussion: Results showed that none of the linear, quadratic and interaction effect of MPC, CWP and KG was significant on pH of the samples at the first day. Results represented that the pH of the samples was varied from 0.36 to 0.94 after 5 days and only linear effect of MPC and CWP (at 99% level of confidence) and interaction effect of CWP-KG (at 95% level of confidence) were significant on that. The effect of MPC and CWP and interaction

1. MSc of Novel Dairy Products Manufacture, Khorasan Razavi Agricultural and Natural Resources Research and education Center, AREEO, Mashhad, Iran.
2. Khorasan Razavi Agricultural and Natural Resources Research and education Center, AREEO, Mashhad, Iran.
3. Department of Food Science and Technology, Ferdowsi University of Mashhad (FUM), 12 POBox: 91775-1163, Mashhad, Iran.
(*Corresponding Author Email: mnajafi.mhd@gmail.com)

effect of MPC-KG, CWP-KG and CWP-MPC-KG were significant on syneresis at 99% of confidence. Results showed that hardness of the samples varied between 3.25-9.58 N and the interaction effects of MPC-KG, CWP-KG and CWP-MPC-KG were significant at 99% of confidence. None of the linear, quadratic and interaction effect of CWP, MPC and KG was not significant on springiness of the samples ($p>0.05$). In strain sweep test, two separated regions were distinguishable: linear viscoelastic (LVE) region that elastic and viscous modulus (G' and G") were constant and G' was higher than G" which showed the solid like behavior, and non-LVE region that G' and G" decreased by increasing strain and led to a crossover point (flowing point) which G" goes over the G' and liquid-like behavior shows itself. In this test, strain corresponding to start of the non-LVE region and sharp reduction of G' define as critical strain (γc) and the corresponding stress of this point defined as critical stress (τc).Results represented that G'LVE and G" LVE of the samples varied from 22.54 to 750.1 and 11.01 to 242.1 Pa, respectively and the selected model (cubic x quadratic) showed that the interaction effect of MPC-KG, CWP-KG and CWP-MPC-KG on G'LVE and G" LVE was significant at 99% of confidence while the interaction effect of CWP-MPC was only meaningful on G" LVE. Results also showed that the variation trend of G'LVE and G" LVE was the same by alteration MPC, CWP and KG in a way that both of these parameters were increased by increasing KG. The effect of MPC-KG and CWP-KG was significant on γc and τc at 95% confidence and also, in addition to mentioned effect, the interaction effect of CWP-MPC was significant only on γc. Increasing KG increased γc at higher amount of CWP and lower amount MPC which can be concluded that increasing KG amplified the gel strength. Also, the results of the correlation study between sensory and instrumental measures showed that there was a close relationship between the score of sour taste and the overall acceptance of samples, which showed that among the measured characteristics, sour taste score is more important than other parameters.

Keywords: Cheese whey powder, Konjac gum, Modified texture profile analysis and back extrusion, Milk protein concentrate, Strain sweep test.